جمهورية مصر العربية
وزارة التربية والتعليم
قطاع الكتب

الفيزياء

للثانوية العامة

غير مصرح بتداول هذا الكتاب خارج وزارة التربية والتعليم

طبعة ٢٠١١ / ٢٠١٢ م

جمهورية مصر العربية
وزارة التربية والتعليم
قطاع الكتب

الفيزياء

للصف الثالث الثانوى

لجنة إعداد الكتاب المطور

أ.د. مصطفى كمال محمد يوسف
أستاذ الفيزياء المتفرغ
كلية العلوم جامعة المنصورة

أ.د. محمد سامح سعيد
أستاذ ورئيس قسم الالكترونيات والاتصالات
كلية الهندسة - جامعة القاهرة

د. مصطفى محمد السيد محمد
أستاذ م. الفيزياء بكلية تربية عين شمس

د. طارق محمد طلعت سلامة
مدرس الفيزياء بكلية العلوم - جامعة الزقازيق

أ. كريمة عبد العليم سيد أحمد
موجه عام الفيزياء بمكتب مستشار العلوم

مستشار العلوم
أ. إلهام أحمد إبراهيم

طبعة ٢٠١١ / ٢٠١٢ م

الهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

القاهرة

١٤٣٢هـ - ٢٠١١م

غير مصرح بتداول هذا الكتاب خارج وزارة التربية والتعليم

المحتويات

مقدمة:

الوحدة الأولى: الموجات : ١ ـ ٧٩

الفصل الأول: الحركة الموجية ٢

الفصل الثانى: الصوت ٢٢

الفصل الثالث: الضوء ٤٦

الوحدة الثانية: خواص الموائع : ٨٠ ـ ١٣١

الفصل الرابع: خواص الموائع الساكنة ٨١

الفصل الخامس: خواص الموائع المتحركة ١١٥

الوحدة الثالثة: الحرارة : ١٣٢ ـ ١٧٩

الفصل السادس: قوانين الغازات ١٣٣

الفصل السابع: نظرية الحركة للغازات ١٥٧

الفصل الثامن: فيزياء درجات الحرارة المنخفضة (التبريد) ١٧٠

الوحدة الرابعة: الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية : ١٨٠ ـ ٢٦٧

الفصل التاسع: التيار الكهربى وقانون أوم ١٨١

الفصل العاشر: التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى وأجهزة القياس الكهربى ١٩٨

الفصل الحادى عشر: الحث الكهرومغناطيسى ٢٢٧

الوحدة الخامسة: مقدمة فى الفيزياء الحديثة : ٢٦٨ ـ ٣٧٤

الفصل الثانى عشر: ازدواجية الموجة والجسيم ٢٦٩

الفصل الثالث عشر: الأطياف الذرية ٣٠٠

الفصل الرابع عشر: الليزر ٣١٧

الفصل الخامس عشر: الإلكترونيات الحديثة ٣٤٣

أسئلة وتمارين عامة للمراجعة ٣٧٥

ملاحق :

ملحق ١ الرموز والأبعاد ووحدات الكميات الفيزيائية ٣٩٦

ملحق ٢ الثوابت الفيزيائية ٣٩٩

ملحق ٣ البادئات القياسية ٤٠١

ملحق ٤ الحروف الأبجدية اليونانية ٤٠٢

ملحق ٥ أسماء بعض العلماء وإنجازاتهم ٤٠٣

ملحق ٦ بعض مواقع الفيزياء على شبكة الإنترنت ٤٠٨

المقدمة

الفيزياء هى ركيزة العلوم الأساسية؛ فكلمة فيزياء تعنى فهم طبيعة هذا الكون من حولنا وما يجرى فيه كبيرًا وصغيرًا. وهى أصل العلوم ويتشابك معها علم الكيمياء الذى يختص بفهم التفاعلات بين المواد، وعلم البيولوجى ويختص بما يحدث فى الكائنات الحية. وعلم الجيولوجيا ويعنى بفهم طبقات الأرض.وعلم الفلك ويعنى بالأجرام السماوية. ولكن فى النهاية تبقى الفيزياء أم العلوم وهى أساس التقدم العلمى والتكنولوجى الهائل. وفهم الفيزياء يعنى فهم القوانين الحاكمة لهذا الكون وهو ما أدى إلى النهضة الصناعية الحضارية التى يقودها الغرب الآن. ولم يكن العرب والمسلمون عامة قادة الحضارة فى العالم إلا بإدراكهم لقيمة فهم قوانين هذا الكون. وكان لهم فضل اكتشاف معظم قوانين الفيزياء قبل الغرب بقرون. وما أسس الطب والفيزياء والكيمياء والفلك والرياضيات والموسيقى إلا من وضع علماء العرب والمسلمين.

إن فهم الفيزياء و تطبيقاتها يحول المجتمع من مجتمع ضعيف وفقير ومتخلف إلى مجتمع قوى وغنى ومتقدم. وهذا ماحدث بالفعل فى أوروبا وأمريكا واليابان. الكمبيوتر والأقمار الصناعية والتليفون المحمول والتليفزيون كل هذه من ثمار علم الفيزياء. ثم إنهم يبحثون الآن فى تركيب الجينات وتصنيع كمبيوتر بالشفرة الجينية. وقريبًا يتم تصنيع كمبيوتر باستخدام الذرة والليزر.

إنه عالم رحب لا حدود للخيال فيه. والذى يجهله إنما يحكم على نفسه بالفناء فى عالم لايعترف إلا بسطوة العلم وقوة الفكر وروعة الإبداع. إن التقدم العلمى ثمرة لسلسلة طويلة من الاكتشافات، إذ لم يأت هذا التقدم فجأة ولكنه رصيد متراكم. فالعلم مشروع جماعى. كل من ساهم فيه كان لا بد له أولاً أن يستوعب ما حققه الآخرون قبله. وتتابعيًا تم بناء هذا الصرح العظيم من تراكم الخبرة الإنسانية عبر التاريخ. ولكن المطلوب من طالب العلم فى هذا العصر أن يلم وبسرعة بما سبق تراكمه من معرفة فى فترة زمنية وجيزة حتى يمكنه أن يضيف جديدًا فى فترة حياته وهى أولاً وآخرًا فترة محدودة. كيف إذًا يمكن حصر كل ما سبقنا فيه الأولون فى فترة دراسية محددة حتى نفهم ثم نضيف؟ من حسن الحظ أننا فى دراستنا لما سبقنا فيه الأولون نأخذ خلاصة ما وصلوا إليه ونغض الطرف عن سنوات طويلة من تفاصيل العناء والبحث والتجربة والمشاهدة والمحاولات والإخفاقات. نأخذ فقط ما صح من النتائج وما انتهى إليه الآخرون قبلنا وبما استقر عليه الفهم بعد أن نضج العقل البشرى على مدى القرون. ومن ثم فعلينا أن نركز على المفاهيم الأساسية فى هذا البحر الزاخم ونترك التفاصيل لما بعد، فلا يمكن أن يلم أحد بكافة تفاصيل العلم ولو قضى حياته كلها فى فرع صغير من فروع أى علم من العلوم. ولكننا لا بد أن نركز على عدد محدود من المفاهيم الرئيسية والمرجعية، ونمهد لما بعدها.

ينقسم هذا الكتاب إلى خمس وحدات:

الوحدة الأولى تتناول الموجات وهى أساس كل الاتصالات فى هذا الكون. ومن ثم يتناول الفصل الأول أساس الحركة الموجية. والثانى الصوت. والثالث الضوء هو أحد صور الموجات الكهرومغناطيسية، مثل: موجات الإذاعة والتليفزيون، و أساس عمل أجهزة التليفون المحمول،

والتواصل مع والمحطات الفضائية عبر الأقمار الصناعية.

أما الوحدة الثانية فتتناول خواص الموائع وهى السوائل والغازات وهى امتداد لقوانين الميكانيكا التى سبق دراستها فى الصف الأول من التعليم الثانوى العام ولكن فى حالة الموائع . ويختص الفصل الرابع بالموائع الساكنة. والفصل الخامس بالموائع المتحركة.

تتناول الوحدة الثالثة الحرارة ويتم دراسة قوانين الغازات فى الفصل السادس. ونظرية الحركة للغازات فى الفصل السابع. أما الفصل الثامن فيتناول فيزياء درجات الحرارة المنخفضة وهى أساس علم التبريد.

أما الوحدة الرابعة فتتناول الكهربية التيارية و الكهرومغناطيسية. ففى الفصل التاسع نستعرض التيار الكهربى وقانون أوم. وفى الفصل العاشر نتناول التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى وأجهزة القياس الكهربى. أما الفصل الحادى عشر فيتناول الحث الكهرومغناطيسى.

أما الوحدة الخامسة فهى مقدمة فى الفيزياء الحديثة وهى أساس الثورة الهائلة فى علوم العصر من إلكترونيات واتصالات، ففى الفصل الثانى عشر نستعرض ظاهرة ازدواجية الموجة والجسيم. وفى الفصل الثالث عشر نتناول الأطياف الذرية. وفى الفصل الرابع عشر نتناول الليزر وتطبيقاته.أما الفصل الخامس عشر فيقدم نظرة إجمالية عن الإلكترونيات الحديثة.

ولقد روعى فى هذا الكتاب ما يلى:

١- إزالة الحشو والتفاصيل غير الضرورية فى هذه المرحلة الدراسية والتركيز على المفاهيم العامة وترك الزيادات التى لا تصب مباشرة فى الفهم العام للموضوع.

٢- البدء بالموجات باعتبارها الموضوع الأعم حيث تتطلب الموجات وسطًا ماديًا (فى حالة الصوت) أو لا تتطلب هذا الوسط (مثلاً فى حالة الضوء). تليها وحدة الموائع باعتبارها حالة خاصة للوسط وما قد يحدث فيه من اهتزازات أو انتقال جسيمات الوسط من مكان لآخر.

٣- بدأ فصل الحرارة بقوانين الغازات ونظرية الحركة للغازات وفيزياء درجات الحرارة المنخفضة مع تطبيق عن التبريد (الثلاجة) مع إضافة موضوع التوصيل الفائق .

٤- تم تناول الكهربية والمغناطيسية فى ثلاثة فصول محددة فى أساسيات الكهربية والمغناطيسية وتطبيقاتها.

٥- تم ابراز المفاهيم الحديثة للفيزياء وخاصة الظواهر الكمية وميكانيكا الكم من خلال فهم ازدواجية الموجة والجسيم وشرح التجارب العملية التي تثبت هذه الظواهر مثل إشعاع الجسم الأسود والتأثير الكهروضوئى وظاهرة كمبتون، ودراسة تركيب الذرة والأطياف الذرية بأسلوب مبسط والعروج إلى الليزر وتطبيقاته.

٦- ختم الكتاب بفصل جديد عن الإلكترونيات الحديثة عالج فيه باختصار وتبسيط أساسيات الإلكترونيات التناظرية والرقمية وآلية عمل الترانزستور والدوائر المتكاملة التى هى أساس عمل جميع النظم الإلكترونية الحديثة مثل الكمبيوتر. وتطرق إلى الاتجاهات المستقبلية فى عملية التصغير باستخدام تكنولوجيا القرن الجديد النانوتكنولوجيا.

٧- يتميز الكتاب بإضافة أمثلة على التطبيقات اليومية المحسوسة توضيحا للمفاهيم الفيزيائية من الواقع سواء فى النص أو كمعلومات إثرائية لربط النظرية بالتطبيق على أن تبقى هذه المعلومات الإثرائية غير ملزمة فى الإمتحان ويظل دورها من قبيل التشويق العلمى.

٨- يحتوى الكتاب على عدد هائل من الصور المحدثة الواضحة مذيلة بتوصيف لكل صورة. كما تم إخراج الكتاب فى أربعة ألوان طبقًا للمقاييس العالمية فى الكتب المدرسية المتطورة.

٩- يحتوى الكتاب على العديد من الأمثلة المحلولة والأسئلة والتمارين وكلها تقوى الإدراك لدى الطالب بالمعنى الفيزيائى والفهم العميق للمفاهيم الأساسية.

١٠- ذيل الكتاب بستة ملحقات عن الرموز والأبعاد والوحدات والثوابت الفيزيائية والبادئات القياسية والحروف الأبجدية اليونانية وأسماء بعض العلماء وإنجازاتهم وبعض المواقع الخاصة بالفيزياء على الإنترنت.

١١- روعى فى الكتاب أن تكون المعادلات باللغة الإنجليزية والمصطلحات باللغتين العربية والإنجليزية وجميع الوحدات المستخدمة طبقاً للنظام الدولى.

١٢- وقد قام مركز سوزان مبارك الاستكشافى للعلوم الفرع الرئيسى - حدائق القبة - بالتجهيزات الفنية والإخراج الفنى لهذا الكتاب طبقاً للمواصفات العالمية للكتب الدراسية المطورة. مع مراعاة ألا يزيد عدد الاسطر فى الصفحة الواحدة عن ٢٤ سطر لإراحة العين، والإكثار من الصور المعبرة عن المادة العلمية، والاهتمام بتصميم الغلاف كعامل جذب للطالب.

وفى النهاية نوجه رسالة إلى الطالب بأن يأخذ علم الفيزياء بحب لأن فهم الفيزياء هو فهم كل ما حولنا فى الحياة وكل الاختراعات التى نتعامل معها وتلك التى ستخرج الى النور فى المستقبل القريب. ورسالة للمدرس بأن يكون تدريس الفيزياء بحب وبأسلوب مبنى على نقل المفاهيم لا تلقين الدروس مع ربط كل مفهوم بالمشاهدات اليومية ليكون التعلم مشوقا ومفيدا. فقد يكون بين هؤلاء الطلبة أمامك من سيخرج فى المستقبل القريب بإذن الله ليكون علما تتحدث عنه الدنيا ويتحدث هو عنك بالفضل والعرفان على أنه فى يوم من الأيام تعلم على يديك وفهم أصول العلم منك وأنك أنت الذى مهدت له الطريق . وكفاك بهذا فخرًا.

لجنة إعداد منهج الفيزياء الثانوية العامة المطور

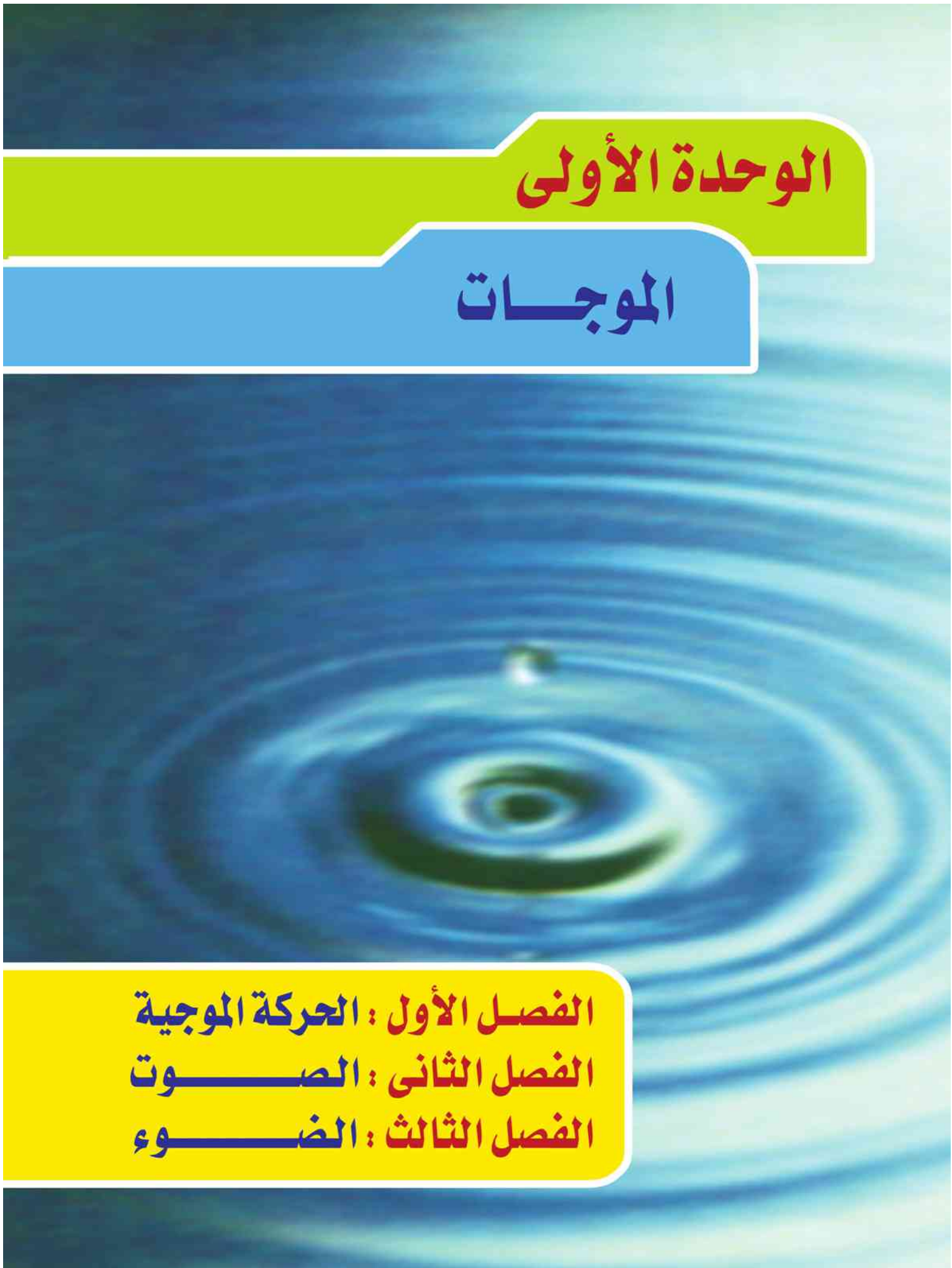
أ.د. مصطفى كمال محمد يوسف

أ.د. محمد سامح محمد سعيد

د. مصطفى محمد السيد محمد

د. طارق محمد طلعت سلامة

أ. كريمة عبد العليم سيد أحمد



الوحدة الأولى

الموجـــات

الفصـل الأول : الحركة الموجية

الفصل الثانى : الصـــــوت

الفصل الثالث : الضـــــوء

الموجات

الوحدة الأولى

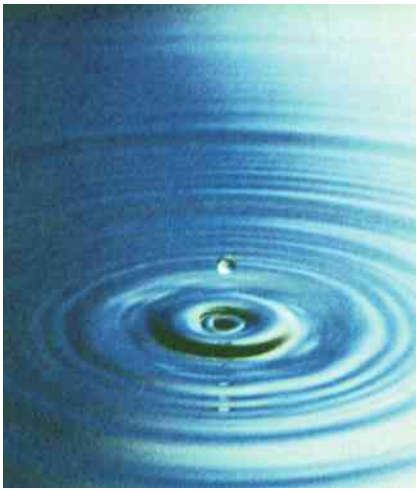
الفصل الأول : الحركة الموجية

الوحدة الأولى
الموجـــات Waves

الفصـل الأول
الحـركـة المـوجـيـة Wave Motion

مقدمة :

يجد بعضنا متعته فى مراقبة الموجات تتهادى فوق سطح الماء، تداعب عوامة صغيرة لشص (سنارة) يستخدم فى صيد السمك، أو تضرب بخفة قاربًا صغيرا فيتأرجح القارب ويهتز، ويجد بعضنا الآخر متعته فى الجلوس على شاطىء بُحيرة أو بركة يلقى فى الماء - من آنٍ لآخر - حصاة صغيرة، فيكون تصادم كل حصاة مع سطح الماء بمثابة مصدر اضطراب ينتشر فوق سطح الماء على هيئة دوائر منتظمة، مركزها موضع سقوط تلك الحصاة (شكل ١-١). وهو ما اصطلحنا على تسميته بالموجات. فالموجة هى اضطراب ينتقل وينقل الطاقة.



شكل (١ - ١)

موجات تنتشر من مصدر على هيئة نقطة يحدث عندها اضطراب

وليست موجات الماء هى وحدها الموجات التى نألفها، فكثيرا ما يطرق آذاننا كل صباح صوت المذيع، معلنًا : هنا القاهرة. إذاعة القاهرة تحييكم وتبدأ إرسالها لكم على موجة متوسطة طولها $366.7\ m$ مثلا. كذلك فالتليفزيون ينقل الصوت والصورة، حيث تتحول إلى موجات تنتشر فى الفراغ ويستقبلها الهوائى (الإيريال)، فتتحول هذه الموجات إلى إشارات كهربية فى جهاز الاستقبال، حيث يتم تحويلها إلى صوت وصورة. كذلك فإن التليفون المحمول يتعامل مع موجات تنقل الصوت من المرسل إلى المستقبل، حيث تتحول الإشارات الصوتية إلى إشارات كهربية، ومنها إلى إشارات كهرومغناطيسية تنتشر فى الفراغ والوسط المحيط، ويستقبلها

هوائى التليفون المحمول لدى المستقبل، فتتحول إلى إشارة كهربية، ثم إلى صوت وأحيانا إلى صورة.

موجات الماء نراها، ولكن موجات الراديو والتليفزيون والتليفون المحمول ندركها من آثارها. موجات الماء موجات ميكانيكية *Mechanical Waves*، وكذلك موجات الصوت والموجات المنتشرة فى الأوتار أثناء اهتزازها. لكن موجات الراديو والتليفزيون والتليفون المحمول تُسمى موجات كهرومغناطيسية *Electromagnetic Waves*.

من هذه الموجات الكهرومغناطيسية - أيضًا - موجات الضوء وموجات الأشعة السينية *(X-rays)* التى تستخدم فى التشخيص الطبى الاشعاعى وغيرها. والموجات الميكانيكية تتطلب وسطا ماديا تنتشر فيه، بينما الموجات الكهرومغناطيسية لا تتطلب ضرورة وجود مثل هذا الوسط، إذ يمكنها الانتشار فى الفراغ.

الموجات الميكانيكية *Mechanical Waves*:

تتطلب الموجات الميكانيكية وجود:

(١) مصدر اهتزاز أو متذبذب.

(٢) نوع من الاضطراب ينتقل من المصدر إلى الوسط.

(٣) الوسط الذى يحمل الاهتزاز.

والمصادر المهتزة كثيرة ومتنوعة، منها:

(١) البندول البسيط المهتز، مثل بندول الساعة (شكل ١-٢)

(٢) الشوكة الرنانة المهتزة (شكل ١-٣)

(٣) الوتر المهتز (شكل ١-٤)

(٤) ثقل معلق فى ملف زنبركى أثناء اهتزازه وهو ما يعرف باليويو "*YoYo*" (شكل ١-٥).

شكل (١ - ٢)

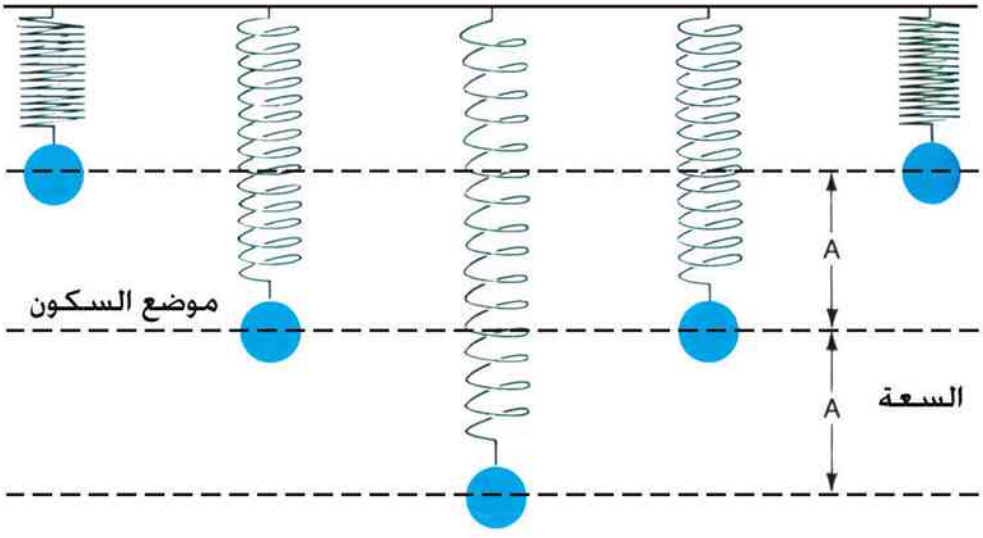
بندول الساعة

شكل (١ - ٣)

الشوكة الرنانة

شكل (١ - ٤)

الوتر المهتز



شكل (١ - ٥)

ملف زنبركى (اليويو)

ويرتبط بالحركة الاهتزازية بعض الكَمّيَّات الفيزيائية الضرورية، مثل: الإزاحة *Displacement*، والسعة *Amplitude*، والاهتزازة الكاملة *Complete Oscillation*، والزمن الدورى *Periodic Time*، والتردد *Frequency*. وفيما يلى تعريف كل منها:

الإزاحة *Displacement(meter)*: هى بُعْد الجسم المهتز، فى أى لحظة عن موضع سكونه أو اتزانه الأصلى، وهى كمية متجهة.

سَعَة الاهتـزازة *Amplitude (A) (meter)*: هى أقـصى ازاحـة للجـسم المهـتـز، أو هى المسافة بين نقطتين فى مسار حركته تكون سرعته فى إحداهما أقصاها وفى الأخرى منعدمة.

الاهتزازة الكاملة *Complete Oscillation*: هى الحركة التى يعملها الجسم المهتز فى الفترة الزمنية التى تمضى بين مروره بنقطة واحدة فى مسار حركته مرتين متتاليتين، فى اتجاه واحد، أى يكون له نفس الطور "*Phase*" بالنسبة لنقطة بداية الحركة.

التـردد *Frequency (ν) (Hertz or Hz)*: هو عـدد الاهتـزازات الكاملة التى يحـدثهـا الجسم المهتز فى الثانية الواحدة.

الزمن الدورى *Periodic Time (T) (second)*: هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز فى عمل اهتزازة كاملة، أو هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز ليمر بنقطة واحدة فى مسار حركته مرتين متتاليتين فى اتجاه واحد.

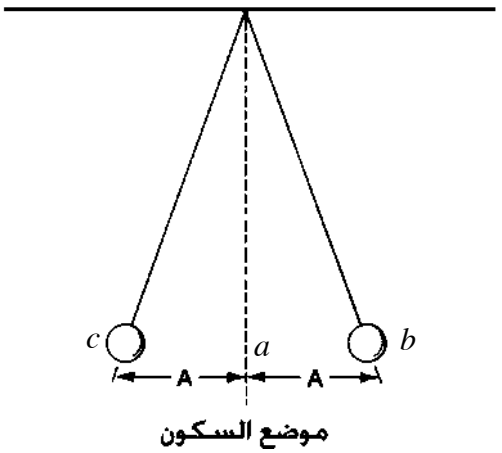
$$\nu = \frac{1}{T} \qquad (1\text{-}1)$$

الحركـــة التوافقيـــة البسيطـة *Simple Harmonic Motion*:

تسمى الحركة الإهتزازية فى أبسط صورها "حركة توافقية بسيطة" مثل الأرجوحة (شكل ١-٦) أو البندول البسيط "*Simple Pendulum*" (شكل ١-٧). إذ تبدأ الاهتزازة من نقطة *(a)* ثم تزداد إلى قيمة قصوى موجبة *(b)* ثم تقل إلي الصفر *(a)* ثم تزداد إلي قيمة قصوى سالبة *(c)* ثم إلى الصفر *(a)* وتكرر نفسها باستمرار(شكل ١-٧أ).

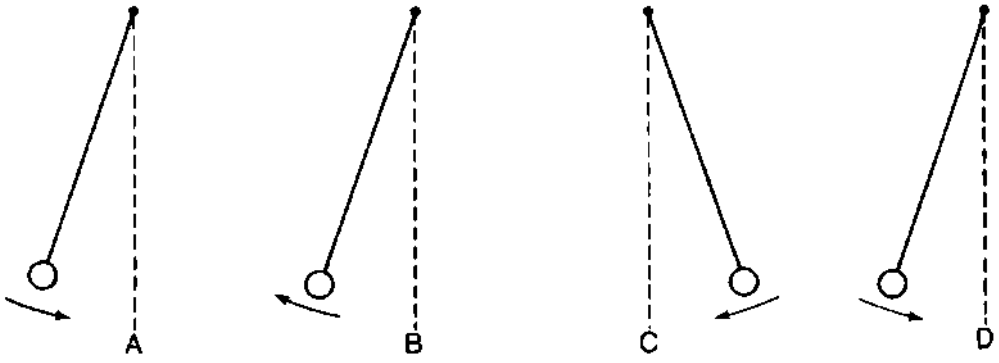
شكل (١ - ٦)

الأرجوحة مثال للحركة التوافقية البسيطة



شكل (١ - ٧ أ)

إزاحة ثقل البندول مع الزمن



شكل (١ - ٧ ب)

إزاحة ثقل البندول مع تغير الطور

A و D فى نفس الطور ، C و B ليس فى نفس الطور

معلومة إثرائية

الرنين *Resonance*

عند تردد معين قد تزداد سعة الاهتزازة الميكانيكية زيادة كبيرة قد تخرج عن حد السيطرة. مثال ذلك تحطم كوب زجاجى بسبب موجات الصوت الصادرة بالقرب منه (شكل ١ - ٨)، وتحطم جسر تاكوما بأمريكا بسبب الرياح فى نوفمبر ١٩٤٠ ((شكل ١ - ٩). ويسمى هذا الوضع الرنين *Resonance*، وهو سبب انهيار كثير من المبانى، حين تكون الحركة داخلها توافقية منتظمة، ومتوافقة مع التردد الطبيعى أو الرنينى *Resonant Frequency* للمبنى. ومثل الرنين الميكانيكى يوجد رنين كهربى، وهو أساس توليف *Tuning* محطة راديو أو تليفزيون،حيث تتضخم الإشارة ا لكهربية الملتقطة من الهوائى (الإيريال) إذا توافق ترددها مع تردد المضخم *Amplifier* فى دائرة الاستقبال.

شكل (١ - ٨)

تحطم كوب زجاجى

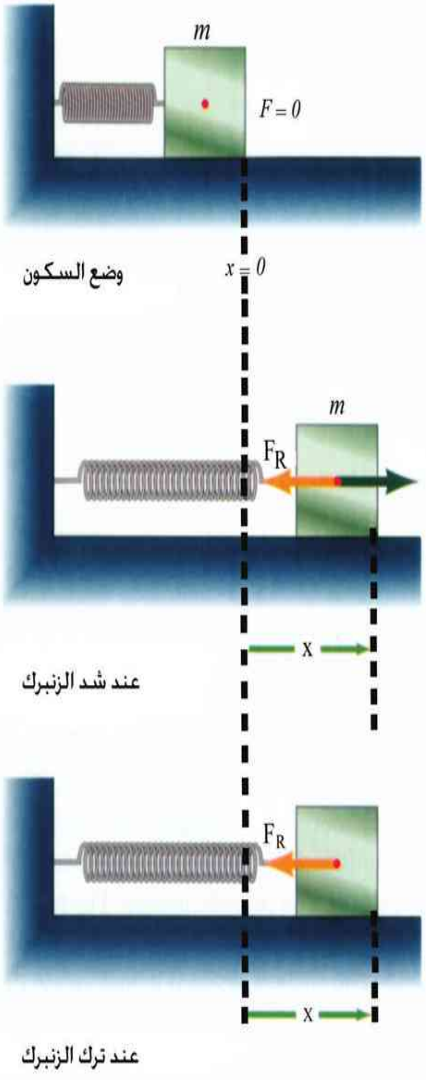
بموجات الصوت قربه

شكل (١ - ٩)

انهيار جسر تاكوما *Tacoma* بأمريكا بسبب الرياح التى سببت اهتزاز الجسر بتردد يساوى تردده الطبيعى محدثاً الرنين

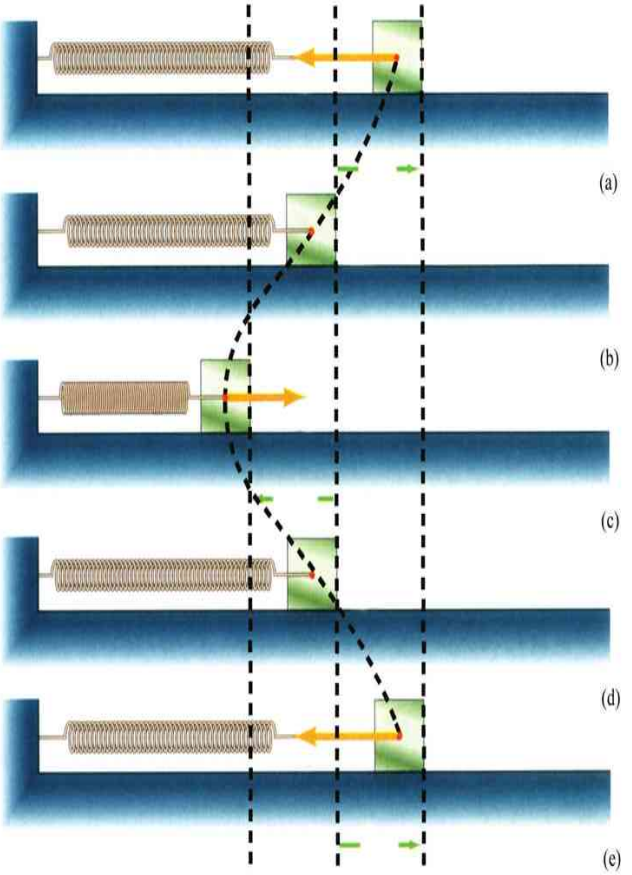
الموجات الطولية:

إذا تخيلنا ثقلاً موضوعًا فوق سطح أفقى أملس ومثبت فى أحد طرفيه زنبرك طرفه الآخر مثبت في حائط رأسى، ثم جذبنا الثقل فى اتجاه محور الزنبرك وتركناه، فإنه يتحرك حول موضع استقراره حركة ترددية نحو الزنبرك وبعيدا عنه (شكل ١-١٠). وتسمى مثل هذه الحركة الحركة التوافقية البسيطة. فإذا رسمنا المنحنى الذى يتحرك بموجبه مركز ثقل الجسم عن وضع استقراره بالنسبة للزمن نحصل علي منحني بيانى هو منحنى الجيب *Sine Wave* (شكل ١ - ١١)، وهو ما يميز الحركة التوافقية البسيطة.



شكل (١ - ١٠)

ملف زنبركى مهتز

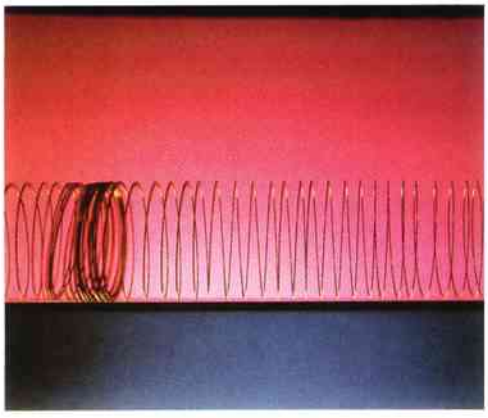


شكل (١ - ١١)

منحنى الجيب ينتج عن الحركة التوافقية البسيطة

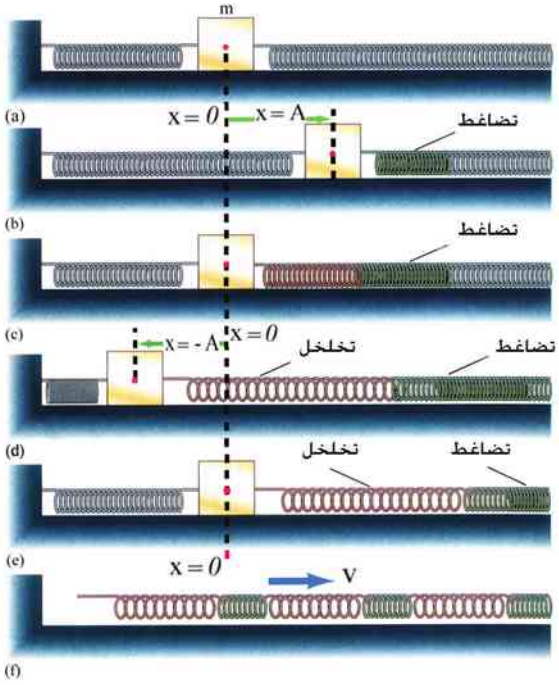
أيضا لنتصور كتلة m فوق سطح أفقى أملس ، مثبتة من أحد طرفيها فى زنبرك والطرف الآخر فى زنبرك طويل مثبت عند طرفه البعيد فى حائط رأسى (شكل ١-١٢أ). فإذا جذبنا الكتلة m جهة اليمين في اتجاه محور الزنبرك إلى الموضع $x = A$، فإن جزءاً من الزنبرك على يمين A ينضغط. وهذا التضاغط *Compression* يؤثر بقوة على الزنبرك جهة اليمين، ويعمل ذلك على ضغط حلقاته بصورة متتابعة. وهكذا ينتقل التضاغط تباعاً إلى جهة اليمين، ثم إذا تحركت الكتلة m إلى موضع $x = - A$ فإن الزنبرك على يمين الكتلة يستطيل وتتباعد حلقاته محدثة نوعا من الخلخلة. وهذا التخلخل *Rarefaction* سرعان ما ينتشر جهة اليمين عبر الزنبرك عندما تعود الكتلة m إلى وضع الاستقرار $x = 0$ مرة أخرى.

وتمثل هذه المجموعة من التضاغطات و التخلخلات موجة ناشئة عن تذبذب جسيمات الوسط (الذى يمثله هنا الزنبرك) فى حركة توافقية بسيطة. ولكن اتجاه انتشار الموجة هو نفسه اتجاه انتقال الاضطراب. وتسمى هذه الموجة بالموجة الطولية *Longitudinal Wave*، حيث تنتقل التضاغطات والتخلخلات علي طول الزنبرك (شكل ١-١٢ب).



شكل (١ - ١٢ ب)

زنبرك مهتز مكونا موجة طولية



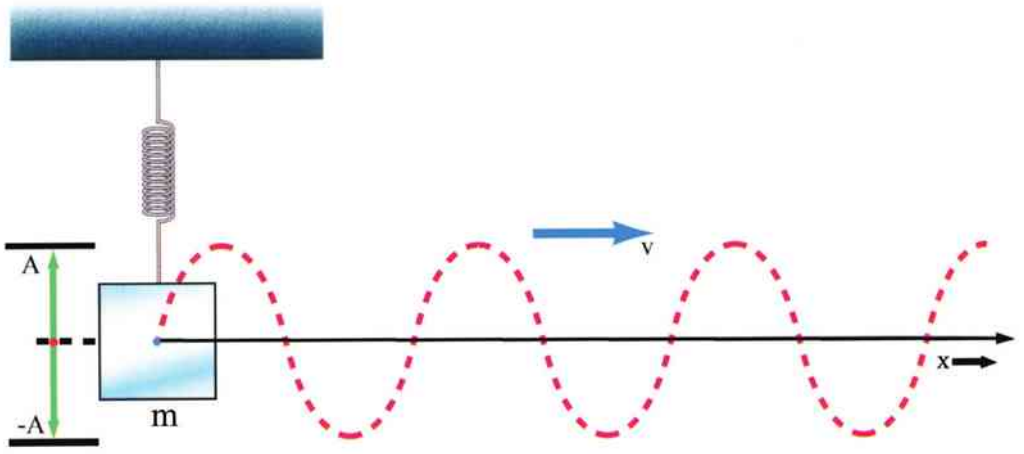
شكل (١ - ١٢ أ)

التضاغطات والتخلخلات فى موجة طولية

وهكذا فإن المصدر المتذبذب الذى يصنع حركة توافقية بسيطة يمكن أن يولد موجة تنتشر بسرعة v، حيث يقوم كل جزء من الوسط بدوره بحركة توافقية بسيطة حول موضع اتزانه، ومثال على ذلك موجات الصوت الطولية التى تنتشر فى الهواء.

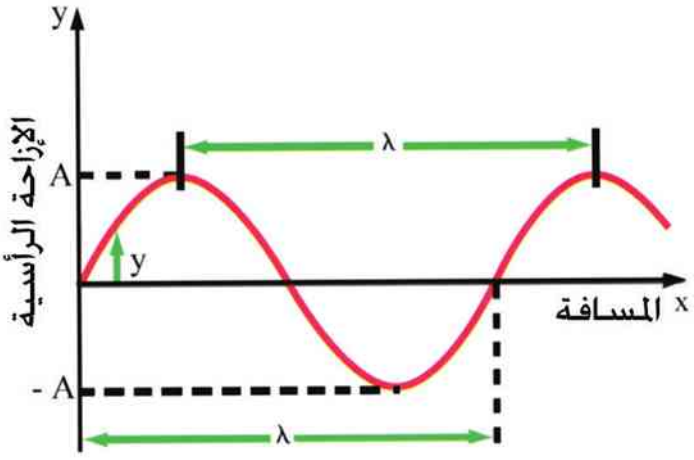
الموجات المستعرضة:

إذا تصورنا أن الكتلة m مثبتة فى زنبرك رأسى ومثبت بها طرف حبل طويل أفقى مشدود، ومثبت طرفه البعيد في حائط رأسي، فعندما تقوم الكتلة m بعمل حركة توافقية بسيطة في الاتجاه الرأسي يقوم تبعا لذلك طرف الحبل المثبت بها بنفس الحركة. وهذا يؤدى إلى تذبذب الأجزاء التى تلى هذا الجزء من الحبل بصورة متتابعة، جزء يلى الآخر. وهكذا تنتقل الحركة على طول الحبل على هيئة موجة فى اتجاه أفقى بسرعة v، بينما تتحرك أجزاء الحبل حركة توافقية بسيطة فى اتجاه رأسى. وهذه الموجة تسمى موجة مستعرضة *Transverse Wave* (شكل ١-١٣).



شكل (١ - ١٣ أ)

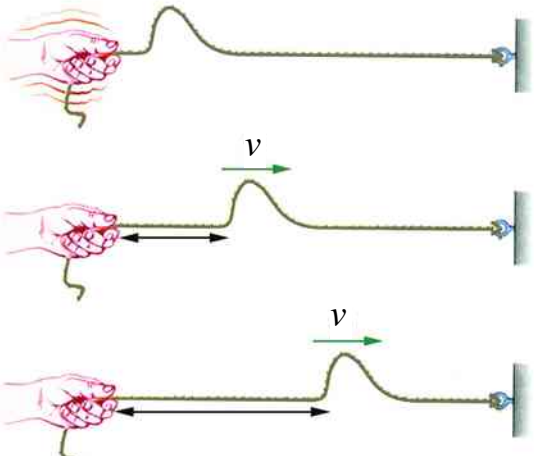
موجة مستعرضة



شكل (١ - ١٣ ب)

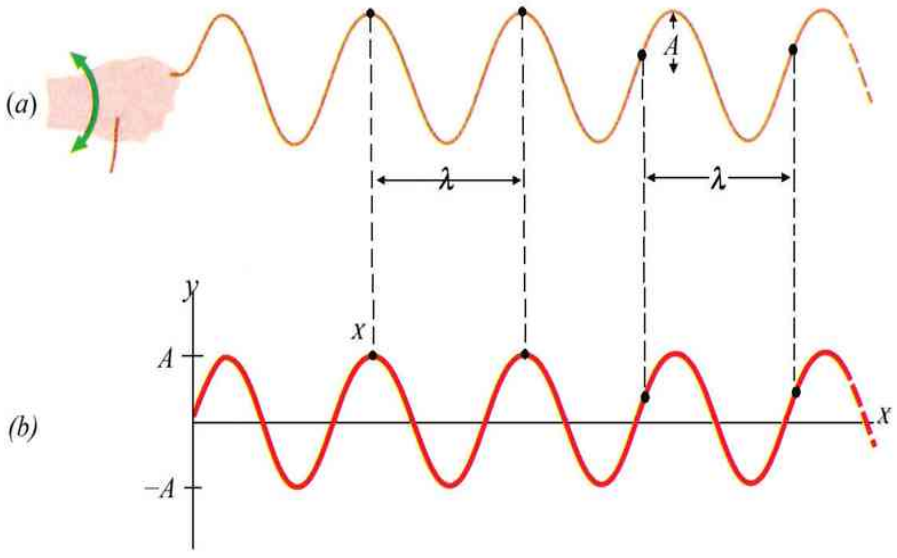
المنحنى الجيبى للازاحة الرأسية

ويمكنك إجراء مثل هذه التجربة بنفسك باستخدام حبل طويل مشدود، مثبت أحد طرفيه (الطرف البعيد) بحائط رأسى، بينما طرفه الآخر مشدود بيدك. وعندما تحرك يدك رأسيا لأعلى ولأسفل على شكل نبضة *Pulse*، تلاحظ انتشار موجة على شكل نبضة ، تنتشر على طول الحبل ، وتسمى هذه الموجة موجة مرتحلة "*Travelling Wave*" (شكل ١ - ١٤).



شكل (١ - ١٤)

نبضة ناتجة عن حركة توافقية بسيطة



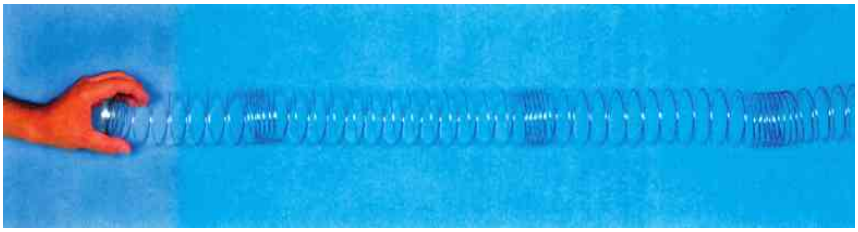
شكل (١ - ١٥)

قطار من الموجات ينتشر فى حبل مشدود نتيجة حركة توافقية بسيطة عند أحد طرفيه

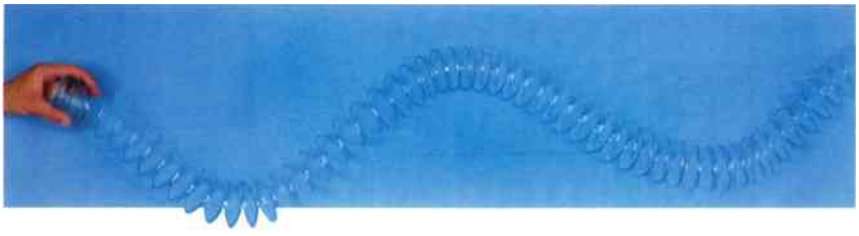
وتكون هذه الموجة متواصلة (قطارا من الموجات المرتحلة) ، طالما ظلت الحركة التوافقية البسيطة مستمرة (شكل ١-١٥).

ويمكن استبدال الحبل المشدود بملف زنبركى ، حيث يمكن توليد موجة طولية (شكل ١ - ١٦) أو مستعرضة (شكل ١ - ١٧).

وكما نرى، فإنه عندما يهتز المصدر تهتز جزيئات الوسط المحيط بنفس الكيفية. إذ ينتقل الاهتزاز - أولاً - من المصدر إلى جزيئات الوسط المجاورة له أو المتصلة به، ومنها إلى جزيئات الوسط التى تليها، وهكذا ينتشر هذا الاهتزاز أو هذا الاضطراب فى الوسط على هيئة حركة موجية؛ فالموجة كما سبق أن ذكرنا ما هى إلا اضطراب ينتقل وينقل الطاقة.



شكل (١ - ١٦)
ملف زنبركى مهتز على شكل
موجة طولية



شكل (١ - ١٧)
ملف زنبركى مهتز على شكل
موجة مستعرضة

وهكذا يمكن تصنيف الموجات الميكانيكية إلى نوعين هما:

(١) **الموجات المستعرضة** *Transverse Waves*.

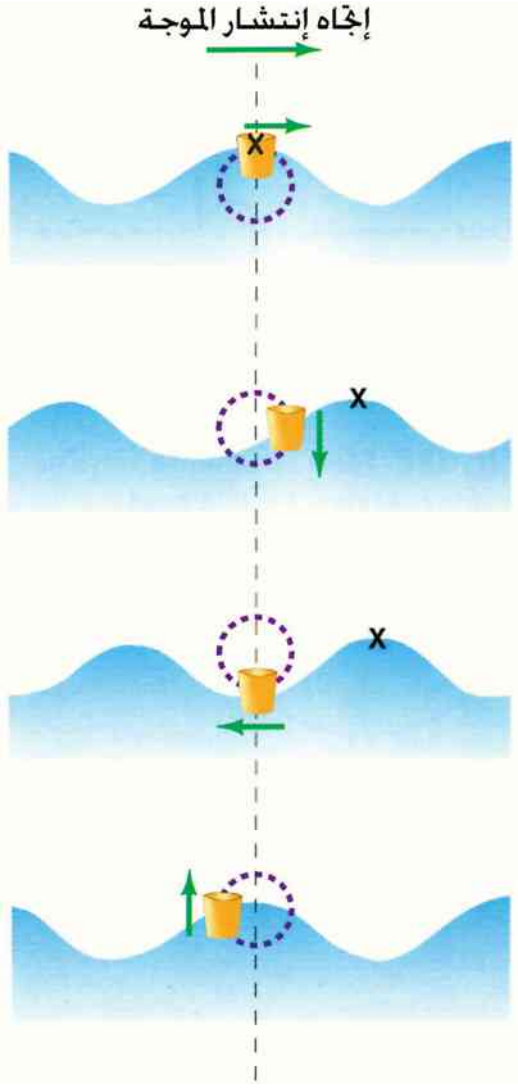
(٢) **الموجات الطولية** *Longitudinal Waves*.

فالموجات المُستعرضة *Transverse Waves*: هى تلك الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها فى اتجاه عمودى على اتجاه انتشار الحركة الموجية.

والموجات الطولية *Longitudinal Waves*: هى تلك الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها على نفس خط انتشار الحركة الموجية.

وبديهى أن الشغل الذى يبذله المصدر المهتز على الوتر ينتقل على هيئة طاقة وضع تتمثل فى شد الوتر ، وطاقة حركة تتمثل فى اهتزاز الوتر.

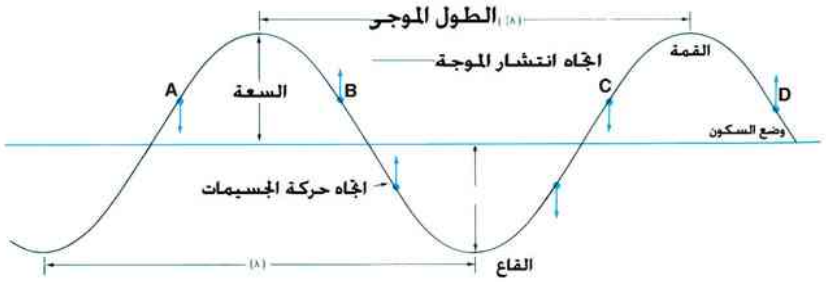
وبالرجوع إلى الشكل (١-١٨)، تُسمَّى النقط التى تمثل النهايات العظمى للإزاحة فى الاتجاه الموجب باسم القمم (مفردها قمة *Crest*)، بينما تُسمَّى النقط التى تمثل النهايات العظمى للإزاحة فى الاتجاه السالب باسم القيعان (مفردها قاع *Trough*). وبملاحظة أى جزء من أجزاء الوتر أثناء اهتزازه ، نجد أنه يحدث قمة وقاعًا متتاليين خلال اهتزازة كاملة، أى أن حركة الموجة المستعرضة تشتمل على قمة وقاع متتاليين خلال اهتزازة كاملة.



شكل (١ - ١٨)
قطعة فلين تطفو أعلى الموجة (قمة) وأسفل الموجة (قاع)

الطول الموجى *Wavelength* (λ) *meter* والتردد *Frequency* (ν) *Hertz*:

يُعَبّر عن المسافة بين أى قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين فى الموجة المستعرضة بالطول الموجى لها (شكل ١ - ١٩). كما يعبر عن المسافة بين مركزى أى تضاغطين متتاليين أو مركزى أى تخلخلين متتاليين فى الموجة الطولية بالطول الموجى لها (شكل ١ - ٢٠).



شكل (١ - ١٩)

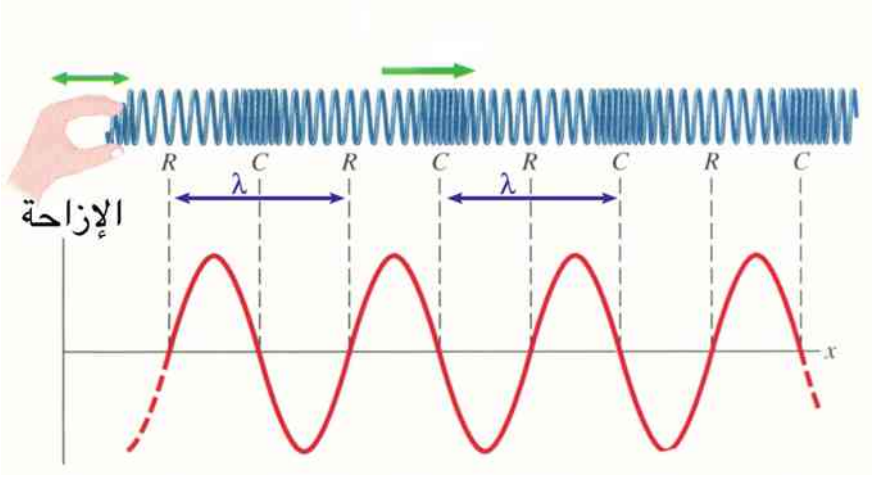
تعريف الطول الموجى فى

موجة مستعرضة

وعلى هذا، يمكن أن يمثل الطول الموجى بإحدى المسافتين (AC) ، (BD)، كما فى الشكل (١-١٩). ويلاحظ أن كل نقطتين متتاليتين $(A\ ،\ C)$ ، $(B\ ،\ D)$ تتحركان فى وقت واحد، بكيفية واحدة، وفى اتجاه واحد، يكون لهاتين النقطتين المتتاليتين نفس الطور *Phase* (أى لهما نفس الإزاحة ونفس الاتجاه).

∴ الطول الموجى : هو المسافة بين أى نقطتين متتاليتين لهما نفس الطور (شكل ١ - ٢١) .

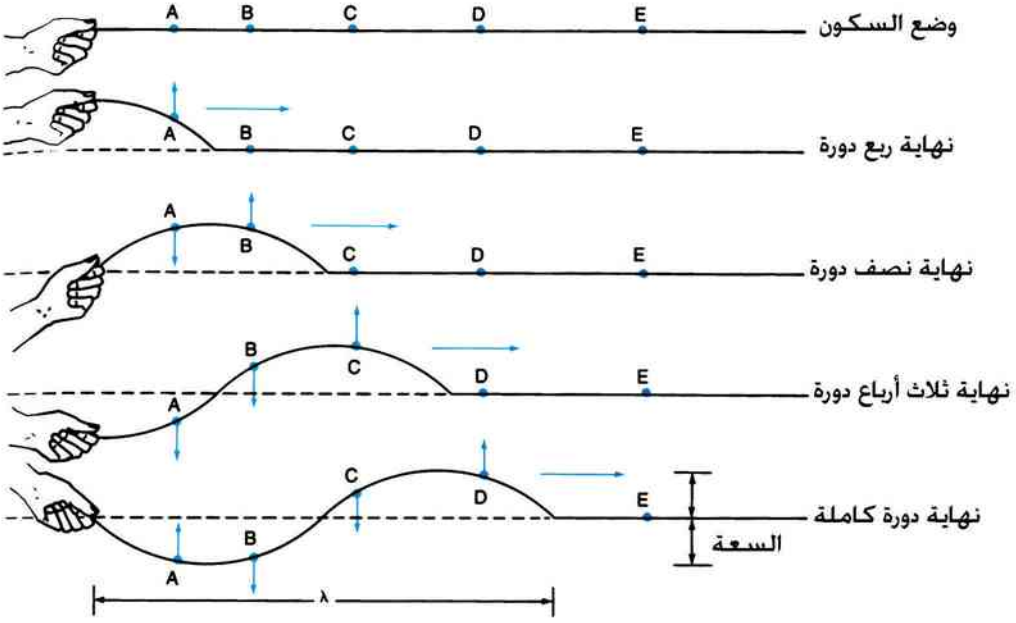
أو هو المسافة الى تتحركها الموجة خلال زمن دورى واحد (شكل ١ - ٢٢).



شكل (١ - ٢٠)

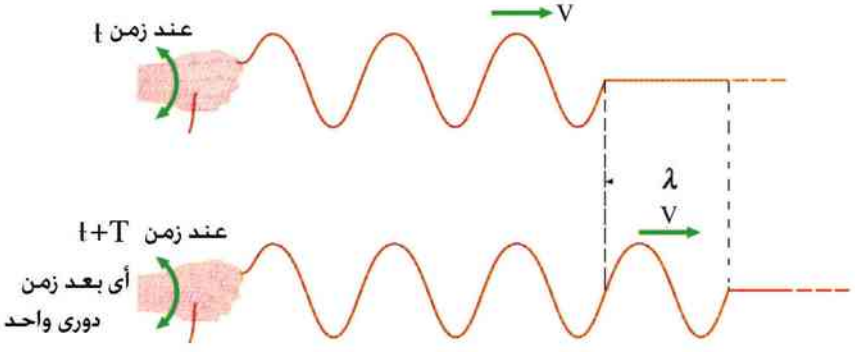
تعريف الطول الموجى فى موجة طولية

ويطلق على عدد الموجات التى تمر بنقطة معينة فى مسار الحركة الموجية فى زمن قدره واحد ثانية اسم التردد .



شكل (١ - ٢١)

المسافة التى تقطعها الموجة خلال زمن دورة واحدة هى الطول الموجى



شكل (١ - ٢٢)

المسافة التى تحركتها الموجة فى زمن دورى
واحد T هى الطول الموجى

العلاقة بين التردد والطول الموجى وسرعة انتشار الموجات :

إذا انتقلت موجة بسرعة v من مكان إلى آخر يبعد مسافة تعادل الطول الموجى λ فإن الموجة تستغرق زمنًا قدره الزمن الدورى T

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

ونظرا لأن

$$\nu = \frac{1}{T}$$

أو

$$T = \frac{1}{\nu}$$

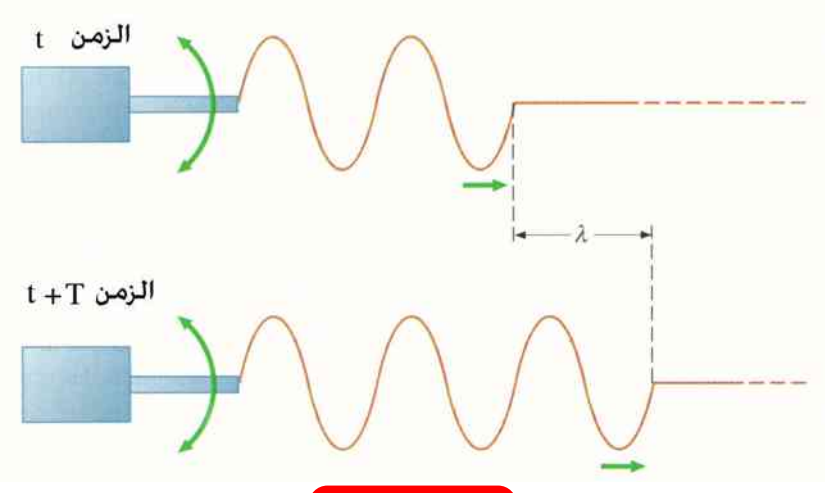
فإن

$$\boxed{v = \lambda \quad \nu} \qquad (1\text{-}2)$$

وهذه علاقة عامة لانتشار جميع أنواع الموجات سواء كانت قطاراً من الموجات (شكل ١-٢٣) أو نبضة واحدة (شكل ١-١٤).

أى أنه فى زمن دوري T تنتقل الموجة مسافة تعادل الطول الموجى.

والتردد هو عدد الاهتزازات فى الثانية الواحدة، أو هو عدد الأطوال الموجية التى تقطعها الموجة المنتشرة فى اتجاه معين فى ثانية واحدة.



شكل (١ - ٢٣)

قطار من الموجات ينتشر بسرعة v

أمثلة :

(١) إذا كان طول الموجة الصوتية التى يصدرها قطار $0.6\ m$ وتردد النغمة الصادرة $550Hz$ فما سرعة انتشار الموجات الصوتية فى الهواء؟

الحل :

$$v = \lambda\, \nu$$

$$v = 0.6 \times 550 = 330 \quad m/s$$

(٢) إذا كان عدد موجات الماء التى تمر بنقطة معينة فى زمن قدره واحد ثانية هو 12 موجة وكان طول الموجة الواحدة $0.1\ m$ إحسب سرعة إنتشار الموجات.

الحل :

$$v = \lambda\, \nu$$

$$v = 12 \times 0.1 = 1.2 \quad m/s$$

(٣) تنتشر موجات الضوء فى الفضاء بسرعة تساوى 300 الف كيلو متر فى الثانية ($3 \times 10^8\ m/s$) فإذا كان طول موجة الضوء $5000\ A^0$. فما هو تردد هذا الضوء ؟

$$1\ Angstrom(A^0) = 10^{-10}\ m$$

الحل :

$$c = v = 3 \times 10^8 \quad m/s$$

$$\lambda = 5 \times 10^3 \times 10^{-10} = 5 \times 10^{-7}\ m$$

$$c = \lambda\, \nu$$

$$3 \times 10^8 = 5 \times 10^{-7} \times \nu$$

$$\nu = \frac{3 \times 10^8}{5 \times 10^{-7}} = 6 \times 10^{14} \qquad Hz$$

تلخيص

- الموجة: هى اضطراب ينتقل و ينقل الطاقة.
- الإزاحة: هى بُعد الجسم في أى لحظة عن موضع سكونه (أو اتزانه) الأصلى.
- سعة الاهتزازة A: هى أقصى إزاحة للجسم المهتز عن موضع سكونه أو هى المسافة بين نقطتين فى مسار حركة الجسم المهتز تكون سرعته فى إحداهما أقصاها وفى الأخرى منعدمة.
- الاهتزازة الكاملة هى الحركة التى يعملها الجسم المهتز (مثل البندول البسيط) فى الفترة الزمنية التى تمضى بين مروره بنقطة معينة فى مسار حركته مرتين متتاليتين فى اتجاه واحد.
- التردد ν : هو عدد الاهتزازات الكاملة التى يحدثها الجسم المهتز فى الثانية الواحدة.

$$\text{التردد} = \frac{1}{\text{الزمن الدورى}}$$

أو هو عدد الموجات التى تمر بنقطة معينة فى مسار الحركة الموجية فى زمن قدرة واحد ثانية.

- الزمن الدورى T: هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز فى عمل اهتزازة كاملة، أو هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز (مثل البندول البسيط) ليمر بنقطة معينة فى مسار حركته مرتين متتاليتين فى اتجاه واحد.
- الموجات الميكانيكية نوعان :

(١) موجات مستعرضة. (٢) موجات طولية.

- الموجات المستعرضة: هى تلك الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها، فى اتجاه عمودى على اتجاه انتشار الحركة الموجية.
- الموجات الطولية: هى تلك الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها، على نفس خط انتشار الحركة الموجية.
- الموجات المستعرضة تتكون من قمم وقيعان متتالية.
- الموجات الطولية تتكون من تضاغطات وتخلخلات متتالية.
- الطول الموجى: هو المسافة بين أى نقطتين متتاليتين فى اتجاه انتشار الموجة لهما نفس الطور (نفس الإزاحة، ونفس الاتجاه).
- العلاقة بين التردد والطول الموجى وسرعة إنتشار الموجات هى : $v = \lambda \, x \, \nu$

اسئلة وتمارين

أولا: عرف كلاً من

١- عرف كلاً من :

١- الموجة ٢- الموجة المستعرضة

٣- الموجة الطولية ٤- طول الموجة.

ثانيا: أكمل كلا من العبارات التالية

(أ) الإزاحة هى .....

(ب) سعة الاهتزازة هى .....

(جـ) الاهتزازة الكاملة هى .....

(د) الزمن الدورى هو .....

(هـ) التردد هو .....

ثالثا: أسئلة المقال

استنتج العلاقة بين التردد والطول الموجى وسرعة إنتشار الموجات؟

رابعا: ضع علامة (✔) أمام الأختيار الصحيح فيما يلى

١- العلاقة بين سرعة انتشار الموجات v فى وسط مادى وترددها ν وطولها الموجى λ هى:

(أ) $v = \lambda \nu$ (ب) $v = \frac{\nu}{\lambda}$

(ج) $v = \frac{\lambda}{\nu}$ (د) لا توجد إجابة صحيحة.

٢- الموجات المستعرضة هى موجات تتكون من :

(أ) تضاغطات وتخلخلات.

(ب) قمم وقيعان.

(ج) قمم وقيعان وتتحرك فيها جزيئات الوسط لمسافات قصيرة حول مواضع سكونها فى

اتجاه عمودى على إتجاه إنتشارها.

(د) تضاغطات وتخلخلات وتتحرك فيها جزيئات الوسط لمسافات قصيرة حول مواضع سكونها على نفس خط إنتشار الحركة الموجية.

٣- إذ كان طول الموجة الصوتية التى يصدرها مصدر صوتى هو $0.5\ m$ وتردد النغمة $666\ Hz$ تكون سرعة إنتشار الصوت فى الهواء .

(أ) $338\ m/s$ (ب) $333\ m/s$ (ج) $330\ m/s$ (د) $346\ m/s$

٥- إذا كانت سرعة الصوت فى الهواء هى $340\ m/s$ تنتشر فيه نغمة ترددها $225\ Hz$ يكون طولها الموجى مقدراً بالمتر هو :

(أ) $\frac{4}{3}$ (ب) $\frac{3}{4}$ (ج) 20 (د) $\frac{3}{2}$

٦- ضوء طوله الموجى $6000\ A^\circ$ ($1\ Angstrom\ (A^\circ) = 10^{-10} m$) ينتشر فى الفضاء بسرعة $300 \times 10^3 km/s$ يكون تردده هو :

(أ) $4 \times 10^{10}\ Hz$ (ب) $4 \times 10^{14}\ Hz$

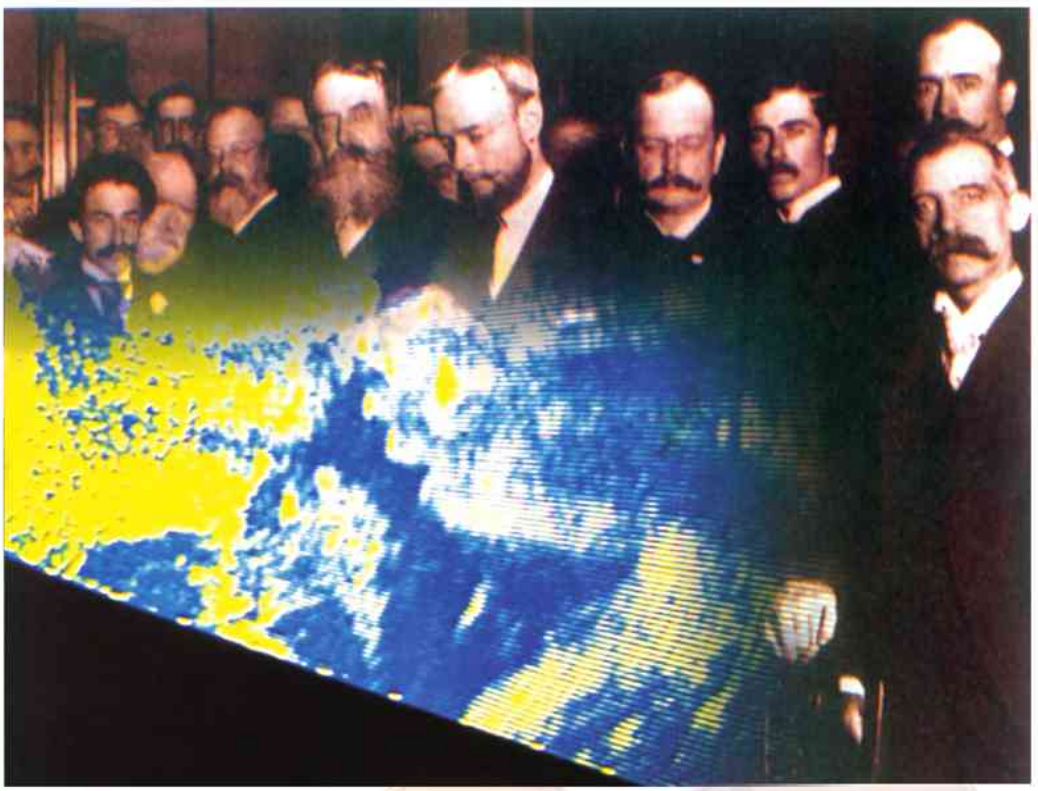
(ج) $5 \times 10^{14}\ Hz$ (د) $5 \times 10^{12}\ Hz$

٧- موجتان ترددهما $512\ Hz$ ، $256\ Hz$ تنتشران فى وسط معين، تكون النسبة بين طوليهما الموجيين هى :

(أ) $\frac{2}{1}$ (ب) $\frac{1}{2}$ (ج) $\frac{3}{1}$ (د) $\frac{1}{3}$

الموجـــات

الوحدة الأولى



الفصل الثانى : الصـــوت

الفصل الثانى الصـــوت Sound

مقدمة :

تحدث الأصوات أو النغمات نتيجة لاهتزاز الأجسام، هذه الاهتزازات تنتقل فى الهواء أو أى وسط مـادى آخـر فى جـمـيـع الإتجـاهات، وعندمـا تصل إلى عـضـو السـمـع (وهو الاذن فى الانسان) تقوم الاذن بنقل هذه الاهتزازات بعد تكبيرها الى المخ عن طريق العصب السمعى، فيعمل المخ على ترجمة هذه الاهتزازات إلى أصوات أو نغمات.

انعكاس الصوت وانكساره

اولا : انعكاس الصوت Reflection of Sound

من الظواهر المألوفة في حالة حدوث صوت عال على بعد مناسب من سطح كبير كحائط مثلا أو جبل فإن الصوت يتكرر سماعه. والصوت المسموع يشبه الصوت الأصلى، وينشأ عن ارتداده أو إنعكاسه عن السطح الكبير للحائط أو الجبل، ويبدو أنه صادر من نقطة خلف هذا السطح. وتعرف هذه الظاهرة باسم "الصدى" "Echo". فالصدى هو تكرار الصوت الناشىء عن الانعكاس.

فموجات الصوت تنتشر فى الهواء على شكل كرات متحدة المركز من التضاغطات والتخلخلات المتعاقبة، مركزها هو مصدر الصوت. واذا صادفت حاجزاً مستوياً كبيراً فإنها تنعكس على شكل كرات متحدة المركز أيضا من التضاغطات والتخلخلات. إلا أن مركز هذه الكرات المنعكسة يقع خلف السطح العاكس وعلى بعد منه يساوى بعد المصدر الصوتى عنه، كما لو كانت نقطة حقيقية.

وهكذا فإن الصوت ينعكس تبعاً لقوانين الانعكاس :

١- زاوية السقوط = زاوية الانعكاس.

٢- الشعاع الصوتى الساقط والشعاع الصوتى المنعكس والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس جميعها فى مستوى واحد عمودى على السطح العاكس.

ملاحظة : الشعاع الصوتى هو المستقيم الذى يدل على اتجاه انتشار الموجات الصوتية.

معلومة إثرائية

كيف يرى الخفاش ؟

شكل (٢ - ١)

الخفاش الرادار

لا يرى الخفاش (شكل ٢-١) بعينيه، بل يصدر موجات فوق صوتية، ويستدل من الصدى على مـاحـولـه. وهو بذلك يعـمل عـمل الردار **Radar**، أو بالأحـرى الرادار الصـوتى **Sonar**، وهو الرادار الذى يعمل بالموجات فوق الصوتية.

معلومة إثرائية

تصوير الجنين

تستخدم الموجات فوق الصوتية **Ultrasonic** (لا تسمعها الأذن البشرية) فى تصوير الجنين، وتعتبر من أكثر الطرق أماناً. وهذه الطريقة تعتمد على ظاهرة انعكاس الصوت (شكل ٢-٢).

شكل (٢ - ٢)

استخدام الأشعة فوق الصوتية لتصوير الجنين

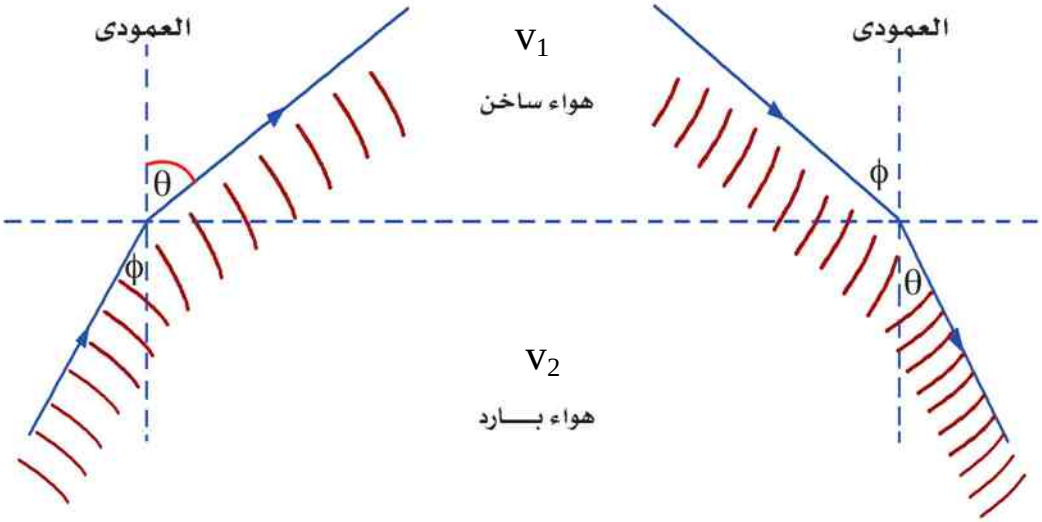
ثانياً : انكسار الصوت Refraction of Sound

عند سـقـوط الصـوت على سطح فـاصل بين وسطين فإن جـزءا منه ينعكس الـى الوسط الأول تبعا لقانونى الإنعكاس، وينتقل الجزء الآخر الى الوسط الثانى منحرفاً عن مساره كما فى الشكل (٢-٣)، ويعتـمـد إنكسـار الـصـوت عند إنتـقـاله من وسط الى وسط آخر على سـرعـتى الصوت فى هذين الوسطين. بعبارة أخرى يكون :

$$\frac{\sin\phi}{\sin\theta} = \frac{v_1}{v_2} \qquad (2\text{-}1)$$

وهذا يعنى أنه عندما تكون سـرعة الصوت فى الوسط الأول v_1 أكبر من سـرعة الصوت فى الوسط الثانى v_2 ينكسر الصوت مقترباً من العمود أى تكون ϕ أكبر من θ والعكس صحيح.

ويلاحظ أن سـرعـة الصـوت فى الغـازات تقل كلمـا زادت كـثـافـتـهـا بينمـا فى السـوائل والأجسام الصلبة فإن سرعة الصوت تزداد مع زيادة الكثافة.



شكل (٢ - ٣)

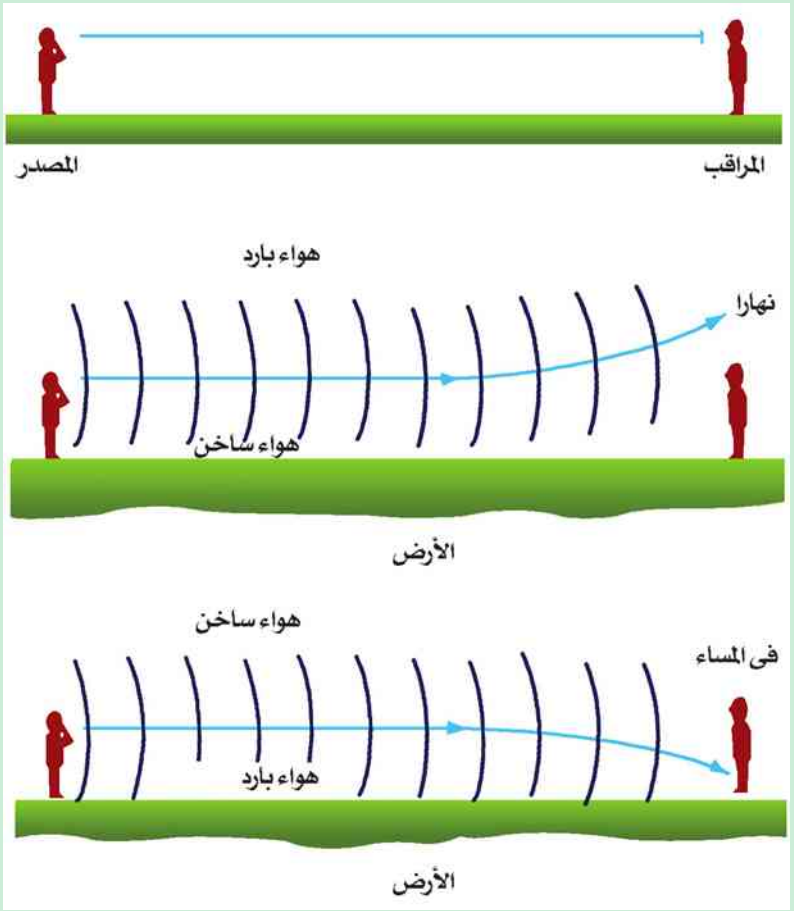
انكسار الصوت نتيجة مروره بين وسطين مختلفين فى الكثافة

معلومة إثرائية

لماذا يسرى الصوت ليلاً أيسر منه نهاراً؟

تتأثر سرعة الصوت فى الهواء بدرجة حرارة الهواء، حيث تنتشر موجات الصوت في الهواء الساخن أسرع من انتشارها في الهواء البارد. وعندما ينتقل الصوت بين طبقتين من الهواء مختلفتين فى درجة الحرارة، فإنه يعانى من الإنكسار (شكل ٢-٤). يوضح الشكل انخفاض شدة الصوت الذى يسمعه المراقب عند مسافة معينة نتيجة انكسار الصوت لأعلى بسبب ارتفاع درجة الحرارة فى اليوم الحار.

بينما يسمع الصوت لمسافة أطول ليلا بسبب انخفاض درجة حرارة الهواء الملاصق لسطح الكرة الأرضية عن الطبقات التي تعلوه، لذلك ينكسر الصوت نحو سطح الأرض.



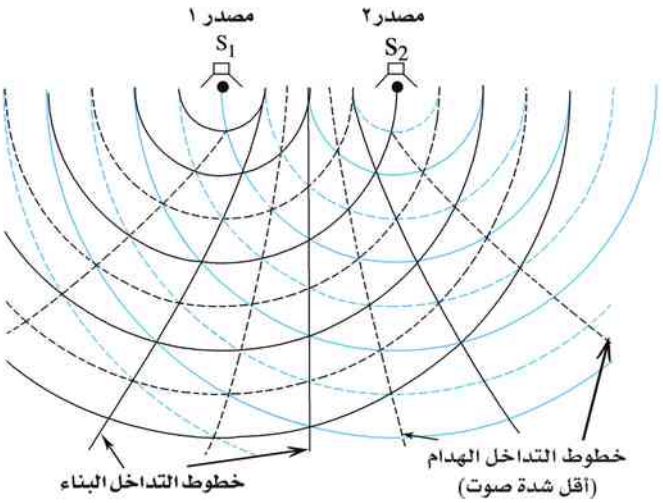
شكل (٢ - ٤)

يسمع الصوت ليلاً لمسافة أطول منه نهاراً

تداخل الصوت وحيوده :

اولا: تداخل الصوت Sound Interference

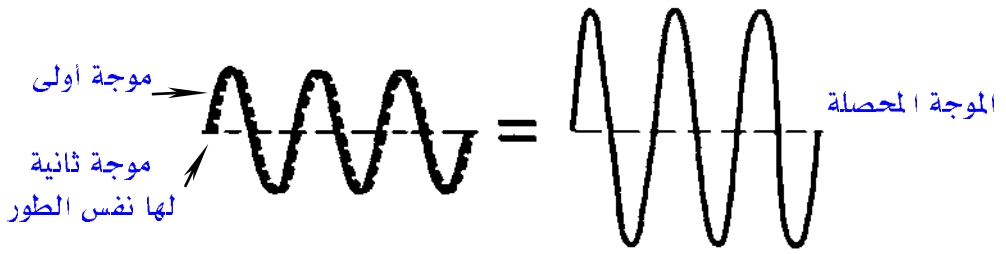
التـــداخل هو تراكب مـوجـتين أو أكـثـر لهـمـا نفس التـــردد والســـعـــة واتجـــاه الانتـشـار. والتـداخل إمـا أن يـكون تـداخـــــــلا بـنـاء Constructive Interference (أى تقـوية للشـدة)، أو يكون تـداخـــــــلا هـدامـــــــا Destructive Interference بمعنى إضـعـاف الشـدة أو أنعدامها.



شكل (٢ - ٥)

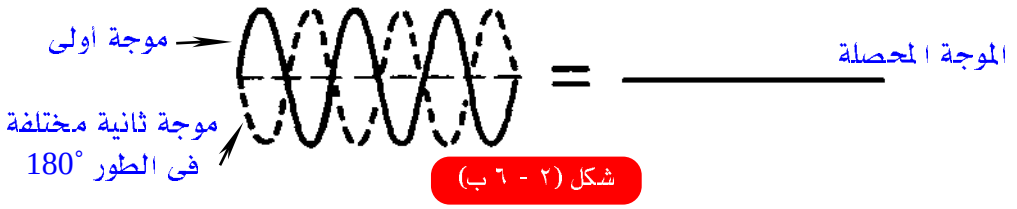
تكون هدب التداخل البناء والهدام بين مصدرى صوت

يوضح الشكل (٢-٥) طريقة لبيان ظاهرة التداخل بين موجات الصوت، وهى كما نعلم موجات طولية تتكون من تضاغطات وتخلخلات. فالمصدران " S_1,S_2 " يبثان موجات لها نفس التردد والسعة.



شكل (٢ - ٦ أ)

تداخل بناء للموجات



شكل (٢ - ٦ ب)

تداخل هدام للموجات

يتم الحصول على هذين المصدرين على سبيل المثال بتوصيل مضخمى صوت **Amplifiers** بنفس المصدر الكهربى المتذبذب كما فى الشكل (٢ - ٥). الأقواس المتصلة الموضحة فى الشكل تمثل مواضع النهايات العظمى للتضاغطات. والأقواس المتقطعة تمثل مواضع النهايات العظمى للتخلخلات. المسافات بين أى قوسين متصلين متتاليين أو قوسين متقطعين متتالين تساوى الطول الموجى.

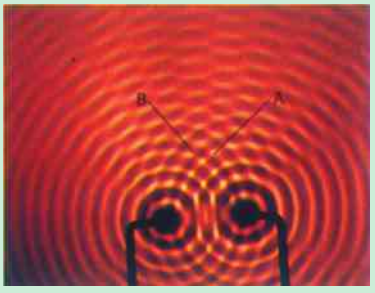
ونتيجة لتراكب موجتين متساويتى التردد والسعة (شكل ٢-٦) توجد بعض النقط أو المناطق التى تلتقى فيها تضاغطات المصدر الأول مع تضاغطات المصدر الثانى. أو تخلخلات المصدر الأول مع تخلخلات المصدر الثانى، وجميعها يتوفر لها الشرط التالى : فرق المسار يساوى $m\,\lambda$ حيث m أى عدد صحيح.

وبذلك ينشأ فى هذه المواضع تداخل بناء، فتزداد شدة الموجة (شكل ٢-٦أ). كما توجد بعض النقط أو المناطق تلتقى فيها تضاغطات المصدر الأول مع تخلخلات المصدر الثانى أو العكس، أي يكون فرق المسار يساوي $\lambda\,(m + \frac{1}{2})$ حيث m أى عدد صحيح. وبذلك ينشأ فى هذه المواضع تداخل هدام فتنعدم شدة الموجة (شكل ٢-٦ ب).

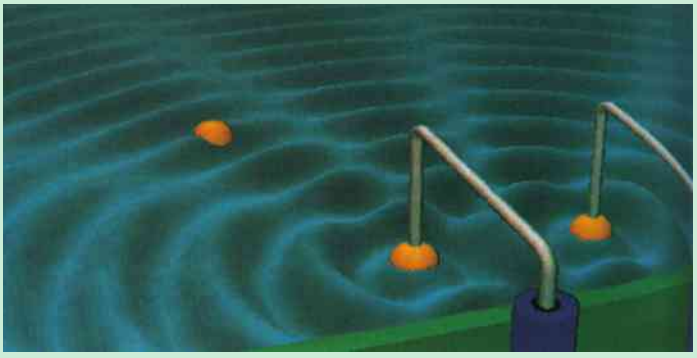
معلومة إثرائية

هل يمكن أن نرى تداخل موجات الصوت؟

تشبه تجربة تداخل الصوت تجربة مماثلة لحوض الموجات **Ripple Tank**، حيث يتذبذب مصدران فيبثان موجات ميكانيكية، تتداخل مع بعضها مكونة مناطق تداخل بناء، ومناطق تداخل هدام (شكل ٢-٧).



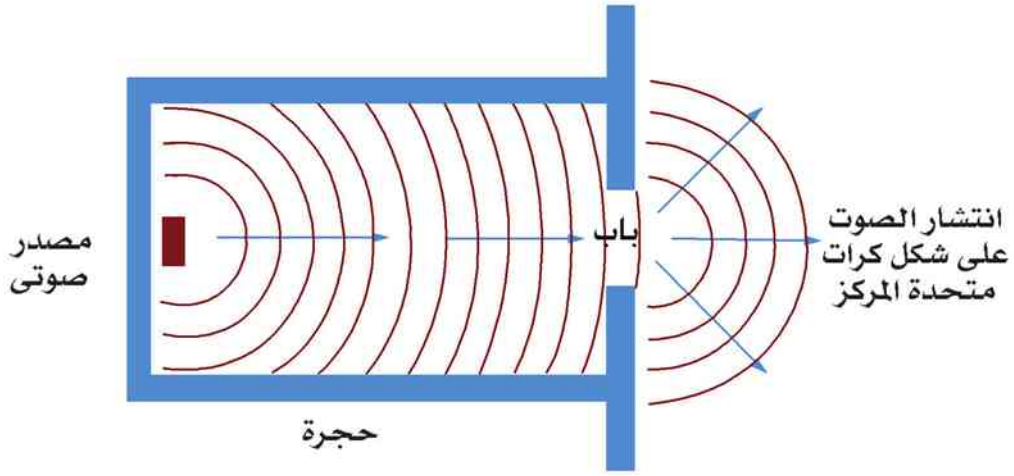
شكل (٢-٧ أ)
هدب التداخل بين الموجتين



شكل (٢-٧ ب)
صورة الموجات مجسمة

ثانياً : حيود الصوت : Sound Diffraction

ما هو الحيود؟ : هو تغير فى مسار الموجة أو إنحناؤها عند مرورها فى فتحة ضيقة بالنسبة لطولها الموجى، أى عندما تكون أبعاد الفتحة مقاربة للطول الموجى، أو عند مرورها بحافة حادة فى نفس الوسط.



شكل (٢ - ٨)

حيود الصوت من فتحة الباب إلى حجرة مجاورة

حيود الصوت من الظواهر المألوفة فى حياتنا اليومية. على سبيل المثال لو أنك تتكلم من غرفة مع شخص آخر فى غرفة أخرى خلال فتحة فى جدار أو باب (شكل ٢-٨)، فإنه ليس ضرورياً أن يقف هذا الشخص أمام الفتحة مباشرة ليسمع صوتك. إذ يمكنه سماع الصوت بغض النظر عن المكان الذى يقف فيه داخل هذه الغرفة، فقد تكون شدة الصوت المسموع أكثر وضوحاً أمام الفتحة مباشرة، ولكن شدة الصوت تتغير من مكان لآخر فى الغرفة الثانية. وإنتشار الصوت فى الغرفة الثانية خلف الفتحة يعزى إلى حيود موجاته.

الصوت حركة موجية :

مما سبق نتبين أن الصوت له خصائص موجية نوجزها فيما يلى :

(١) قابل للانتشار فى الوسط المادى فى جميع الاتجاهات فى خطوط مستقيمة.

(٢) قابل للانعكاس عند سقوطه على السطح العاكس حيث تكون زاوية السقوط = زاوية الانعكاس.

(٣) قابل للإنكسار عند إنتقاله من وسط إلى وسط آخر نتيجة لاختلاف سرعته فى الوسط الثانى عن سرعته فى الوسط الأول (شكل ٢-٣) ويكون :

$$\frac{\sin\phi}{\sin\theta} = \frac{v_1}{v_2}$$

حيث ϕ زاوية السقوط، θ زاوية الانكسار، v_1 سرعة الصوت فى الوسط الأول، v_2 سرعة الصوت فى الوسط الثانى.

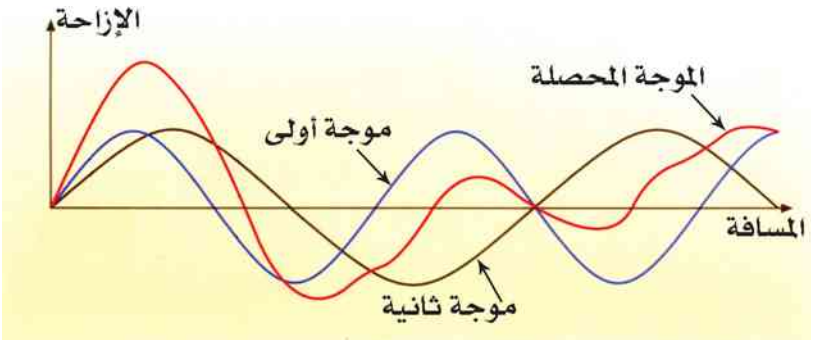
(٤) تتداخل الأصوات المتساوية فى التردد والسعة. وينتج عن التداخل تقوية فى الشدة فى بعض المواضع وإنعدام فى الشدة فى بعض المواضع الأخرى.

(٥) يحيد الصوت عن مساره عند مروره فى نفس الوسط من فتحة ضيقة بالنسبة للطول الموجى أو حافة حادة.

تراكب الموجات : Superposition of Waves

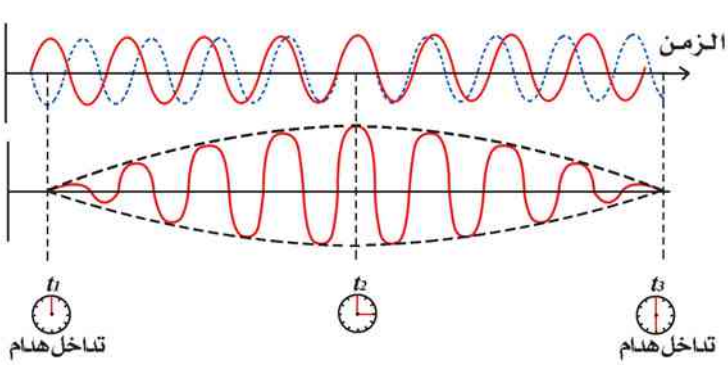
يمكن أن تتراكب موجات بحيث تكون الموجة المحصلة هى مجموع شدة الموجات (شكل ٢-١٩). وفى حالة تقارب التردد وتساوى السعة فإن عملية التراكب تؤدى إلى نغمات متوافقة **Beats** (شكل ٢ - ٩ ب، ج، د).

إذا حركنا حبلاً مشدود بحيث انطلقت نبضة نتيجة حركة اليد (شكل ٢ - ١٠ أ) فإن هذه النبضة تستمر حتى تصل إلى الطرف البعيد من الحبل، فإذا كان هذا الطرف مربوطا فى حلقة قابلة للإنزلاق، فإن الموجة المرتدة تكون موجبة مثل الموجة الساقطة. أما إن كان الطرف مثبتاً لا يمكنه الحركة، فإن النبضة المرتدة تكون دائما معكوسة (شكل ٢ - ١٠ ب). عندما تلتقى الموجة المرتدة مع الموجة الساقطة فإنها تعطى تداخلاً بناء فى الحالة الأولى (شكل ٢ - ١٠ جـ)، وتداخلا هداما فى الحالة الثانية (شكل ٢ - ١٠ د).



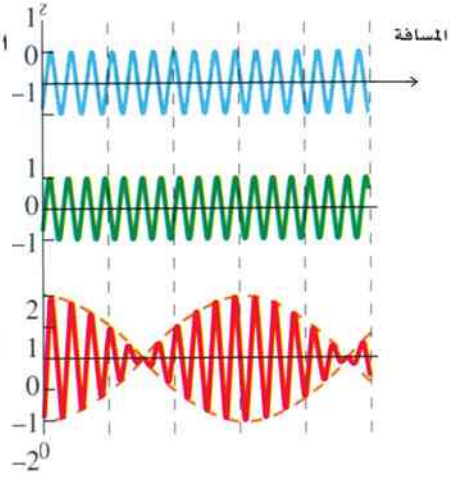
شكل (٢-٩ أ)

الموجة المحصلة هى مجموع موجتين



شكل (٢-٩ جـ)

تغير النغمات المتوافقة مع الزمن

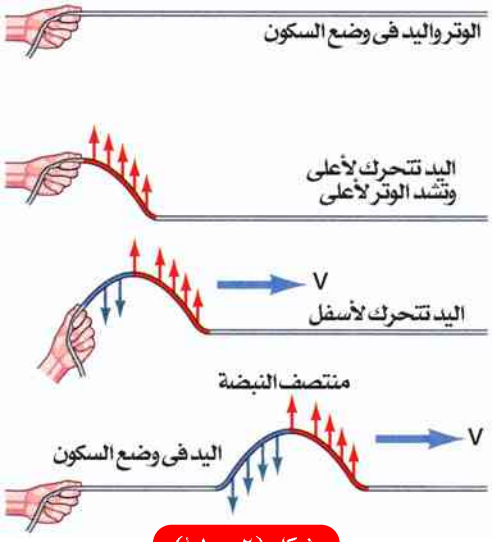


شكل (٢-٩ ب)

تغير النغمات المتوافقة مع المسافة

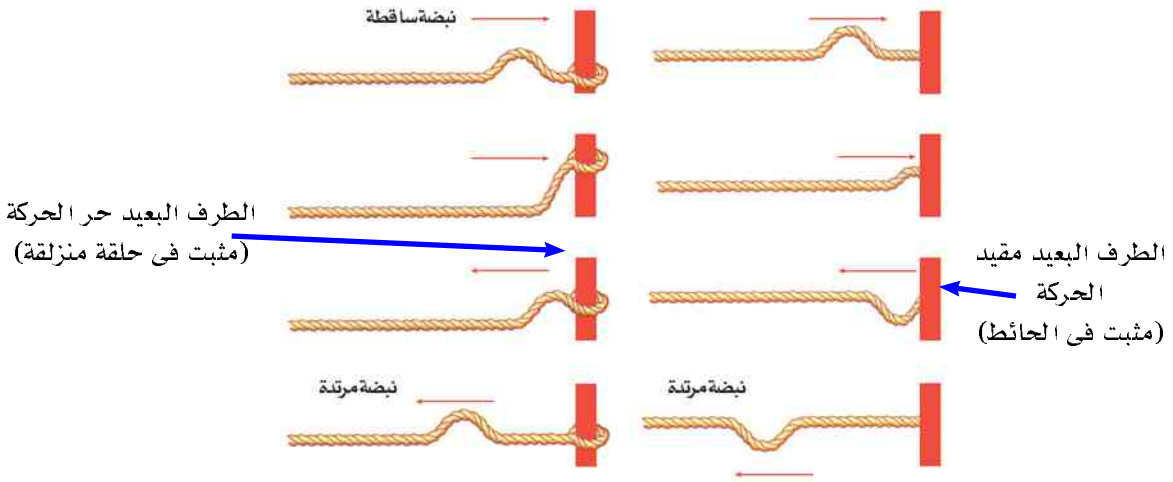
شكل (٢-٩ د)

تشبه النغمات المتوافقة مشطين متقاربين فى المسافة ومتراكبين



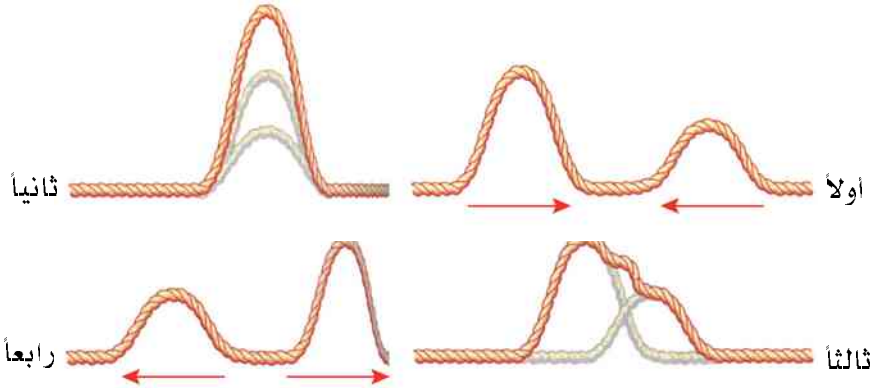
شكل (٢-١٠ أ)

تكون النبضة الساقطة



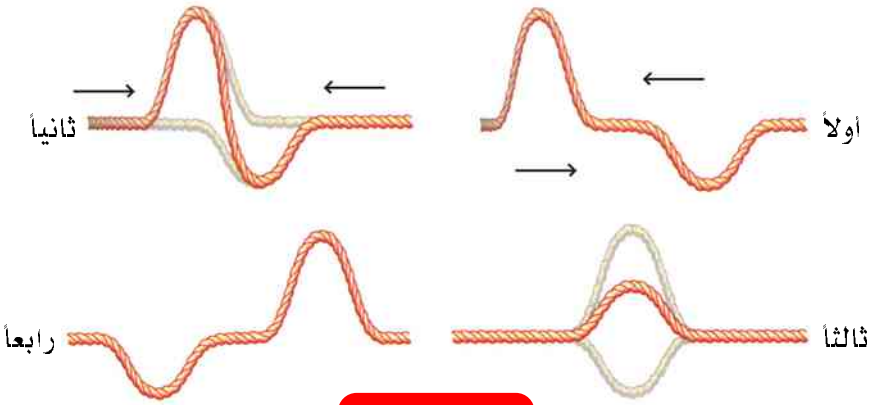
شكل (٢-١٠ ب)

النبضة المرتدة



شكل (٢-١٠ جـ)

تراكب نبضتين موجبتين تنتشران فى اتجاهين متعاكسين

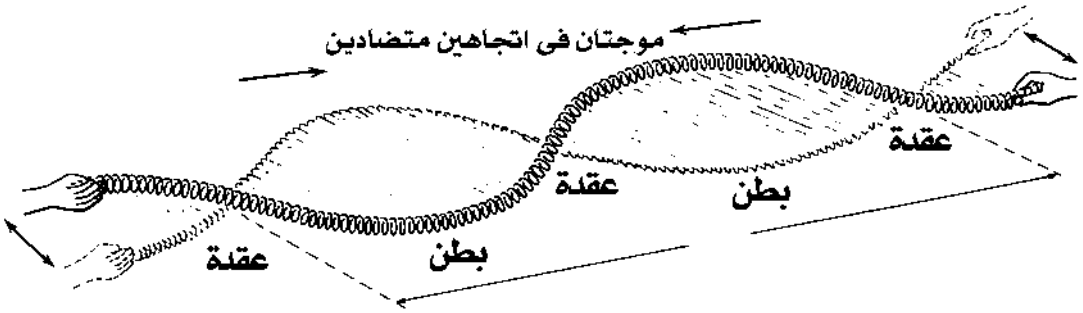


شكل (٢-١٠ د)

تراكب نبضتين احدهما موجبة والآخرى سالبة يتحركان فى اتجاهين متعاكسين

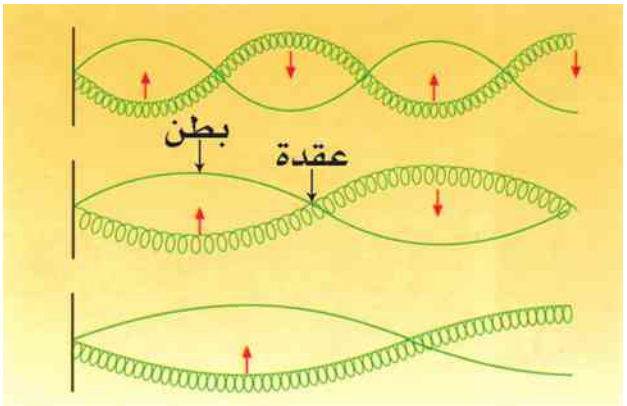
الموجات الموقوفة : Standing (Stationary) Waves

تتكون الموجات الموقوفة حين يكون هناك قطار مستمر من الموجات فى حبل مشدود فى اتجاه، وقطار آخر مستمر من الموجات المرتدة فى عكس الاتجاه، بحيث تتداخل الموجات وتكون شكلاً محدداً **Pattern** لجسيمات الوتر يبدو وكأنه لا يتحرك إلى اليمين أو إلى اليسار، ولكنه يتحرك عمودياً على الوتر أو الحبل أو الملف اللولبى، ويمكن إحداث ذلك، إما بتحريك الوتر أو الحبل أو الملف اللولبى صعوداً وهبوطاً بشكل تبادلى من نهايته (شكل ٢ - ١١ أ)، أو تثبيته فى طرف وتحريكه حركة توافقية بسيطة فى الطرف الآخر (شكل ٢ - ١١ب) أو بجذبه من وسطه، بحيث تنطلق الموجات فى اتجاهين فترتدان، ثم تتداخلان (شكل ٢ - ١١ جـ).



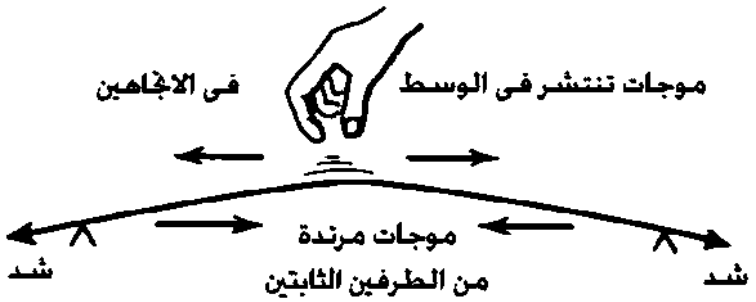
شكل (٢-١١ أ)

ملف لولبى يهتز تبادليا من طرفيه



شكل (٢-١١ ب)

ملف لولبى يهتز بحركة توافقية بسيطة عند أحد طرفيه ومثبت من الطرف الآخر



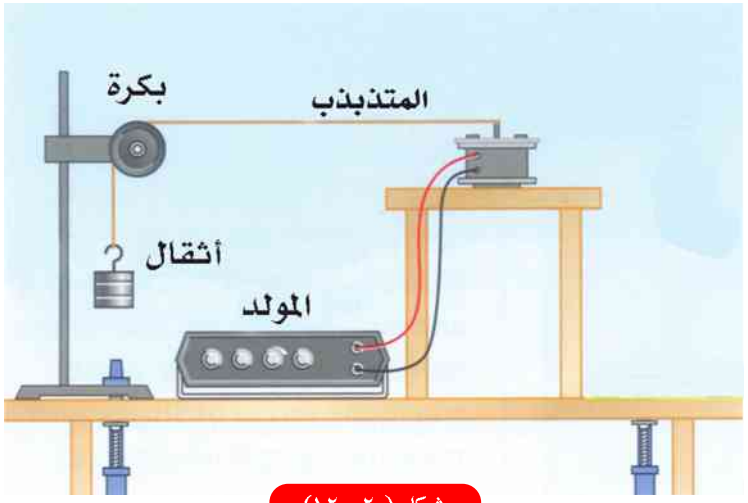
شكل (٢-١١ جـ)

وتر مثبت من أحد طرفيه ويجذب من منتصفه

تجربة ميلد Melde's Experiment:

من أوضح التجارب التى توضح الموجات الموقوفة فى الأوتار تجربة ميلد. ويمكن إجراؤها بأكثر من طريقة لعل أبسطها ما يلى :

يستخدم الجهاز المبين فى الشكل (٢ - ١٢) وهو عبارة عن مصدر مهتز ، يتصل بخيط رقيق مرن يتراوح طوله بين مترين وثلاثة أمتار، يمر طرفه الآخر فوق بكرة ملساء، وينتهى بكفة توضع بها أثقال مناسبة. وعندما يهتز المصدر ينتقل فى الوتر قطار مستمر من الموجات حتى يصل إلى البكرة فيرتد عنها. وتتراكب الموجات الساقطة مع الموجات المنعكسة (المرتدة)، مكونة الموجات الموقوفة التى تتكون من عقد وبطون (شكل ٢-١٣)، إذا كان تردد المصدر المهتز له قيمة معينة بالنسبة لطول الوتر.

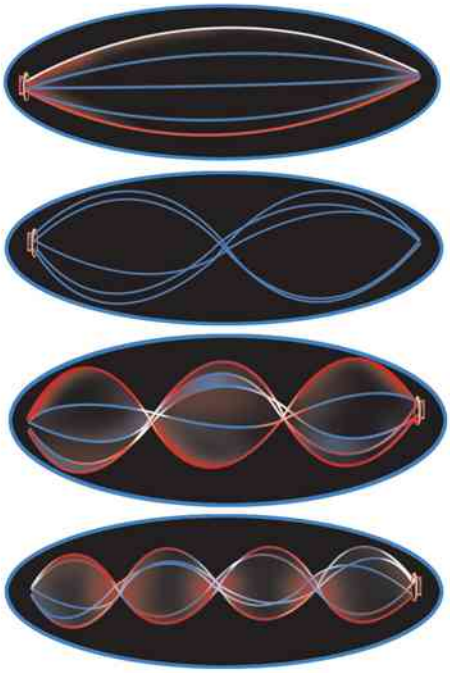


شكل (٢ -١٢)

جهاز ميلد

شكل (٢ - ١٣ أ)

الوتر المهتز وتظهر عليه الموجات الموقوفة

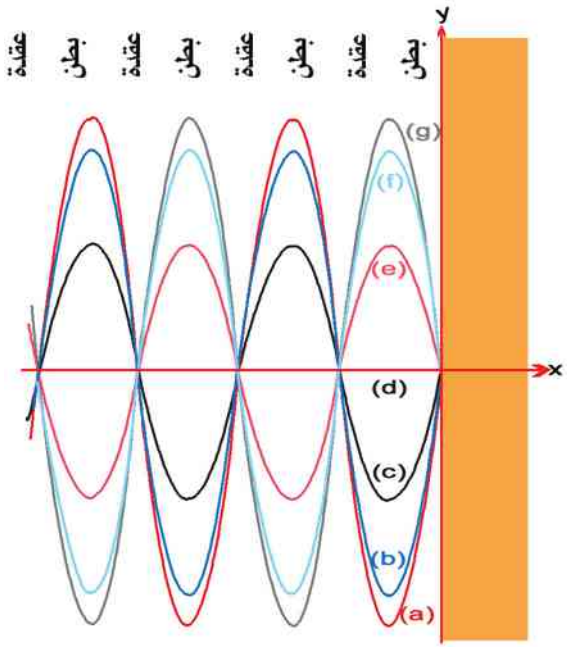


شكل (٢ - ١٣ب)

الموجات الموقوفة مع تغير نسبة طول الوتر إلى الطول الموجى ومع تغير الزمن

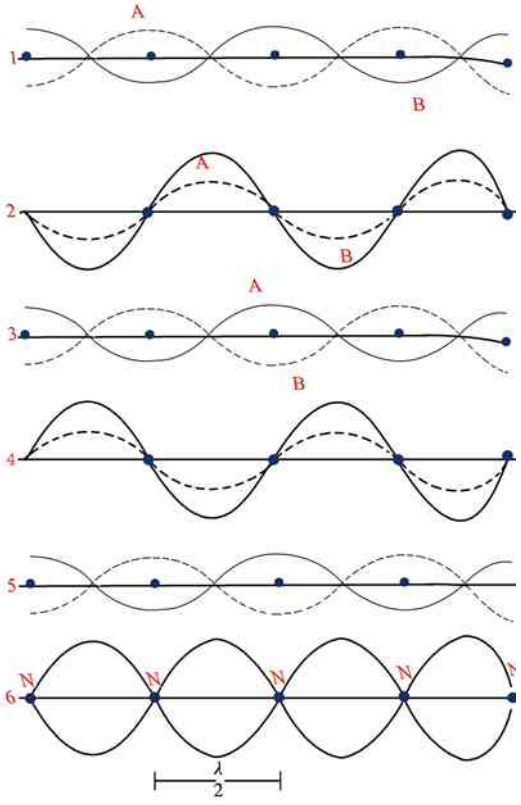
والعقدة (Node) هى الموضع الذى تنعدم فيه سعة الإهتزازة. والبطن (Antinode) هى الموضع الذى تبلغ فيه سعة الإهتزازة نهايتها العظمى، وتقع البطون وكذلك العقد على مسافات متساوية (شكل ٢-١٤).

والطول الموجى للموجة الموقوفة هى ضعف المسافة بين أى بطنين متتاليين أو ضعف المسافة بين أى عقدتين متتاليتين. ويتضح من تجربة ميلد أنه كلما زاد الثقل (الشد فى الوتر)، تزداد سرعة انتشار الموجات الموقوفة فى الوتر، وأيضاً ترددها لنفس طول الوتر (شكل ٢ - ١٥).



شكل (٢ - ١٤)

العقد Nodes والبطون Antinodes



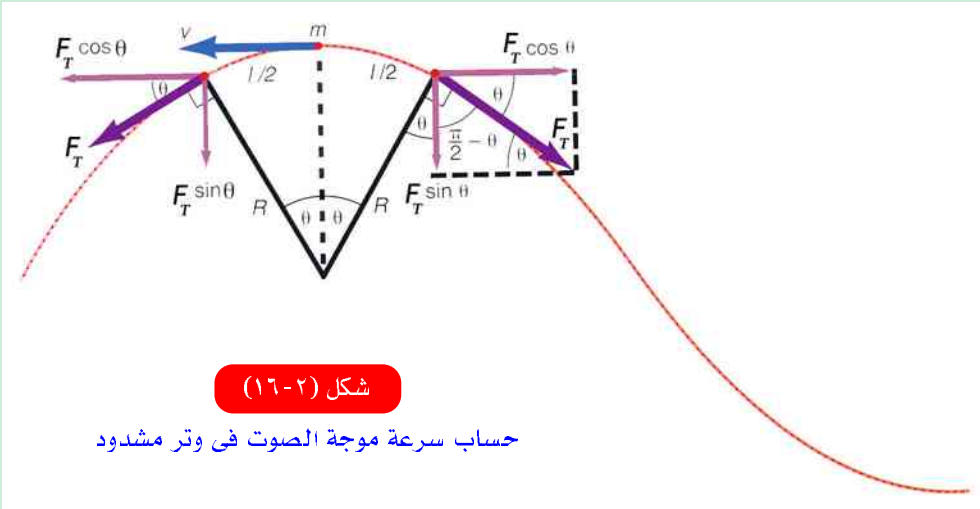
شكل (٢ - ١٥)

المسافة بين أى عقدتين متتاليتين أو بطنين متتاليتين هى نصف طول موجى

معلومة إثرائية

حساب سرعة الصوت فى وتر

إذا تأملنا حركة موجة على وتر تنتشر إلى اليمين بسرعة v، فيمكن اعتبار أن الموجة ثابتة، بينما تتحرك جسيمات الوتر فى الإتجاه المعاكس إلى اليسار. أحد هذه الجسيمات على قمة الموجة تتحرك بسرعة v إلى اليسار. ويمكن إعتبار هذا الجزء من الوتر على هيئة قوس صغير من دائرة نصف قطرها R كما فى (الشكل ٢-١٦) فإذا كانت الزاوية θ صغيرة فإن طول القوس 2Rθ= ع



شكل (٢-١٦)

حساب سرعة موجة الصوت فى وتر مشدود

وكتلة هذا الجزء الصغير من الوتر هى M. ولأن هذا الجسيم يتحرك على دائرة فإنه يعانى قوة مركزية Centripetal Force هى :

$$F_c = \frac{Mv^2}{R}$$

هذه القوة تنشأ من الشد فى الوتر F_T. فإذا حللنا الشد على يمين و يسار M إلى مركبتيها فإن هناك قوة $F_T \cos\theta$ إلى يمين M ، وقوة مساوية إلى يسارها، بحيث تلاشى إحداهما الأخرى. بينما تكون المركبة الرأسية للشد من اليمين $F_T \sin\theta$ ومثلها للشد من اليسار. ولذلك فإن قوة الشد الرأسية هى قوة مركزية

$$F_c = 2 F_T \sin\theta$$

ولأن θ صغيره فإن

$$F_c = 2 F_T \theta$$

ولأن القوس صغير فإن

$$\theta = \frac{\ell / 2}{R} = \frac{\ell}{2R}$$

$$\therefore F_c = 2F_T \sin\frac{\theta}{2} = 2F_T \sin\frac{\ell / 2R}{2} = \frac{F_T \ell}{R} = \frac{Mv^2}{R}$$

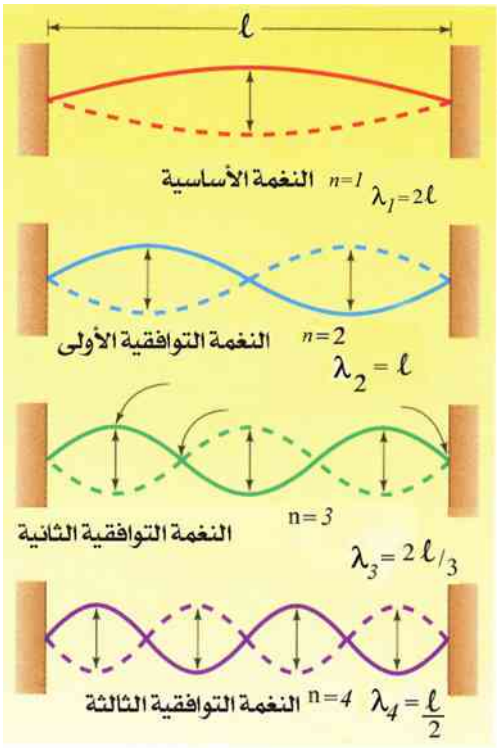
$$v^2 = \frac{F_T \ell}{M} = \frac{F_T}{M/\ell} = F_T / m$$

$$\boxed{v = \sqrt{F_T / m}} \qquad (2\text{-}2)$$

حيث m هى كتلة وحدة الأطوال من مادة الوتر.

اهتزاز الأوتار : Vibration of Strings

إذا كان لدينا وتر مشدود مثبت من طرفيه، ثم جذبناه من منتصفه، ثم تركناه حراً ليهتز، فإننا نلاحظ أن أجزاء الوتر تهتز فى إتجاهات عمودية على طوله (ويمثل الطول هنا خط إنتشار الموجة). ومن ثم يطلق على هذا النوع من الاهتـــزاز إسم الإهتزاز المستعرض، أى أن موجة مستعرضة تنتقل فى جزئى الوتر حتى تصل الى نهايتيه المثبتتين - فتنعكس عند كل منهما فى الإتجاه المضاد. وبتوالى الإنعكاسات تتراكب الحركتان الموجيتان الساقطة والمنعكسة مكونة الموجات الموقوفة Standing Waves. حيث تتكون بطن Antinode عند منتصف الوتر وعقدة Node عند كل من نهايتيه.



شكل (٢ - ١٧)

تكون النغمات التوافقية

وعندما يهتز الوتر بهذه الكيفية فإنه يمكن أن تنشأ عدة نغمات، فمثلاً: يصدر الوتر نغمته الأساسية -ويعتبر ترددها أقل تردد يمكن أن يهتز به هذا الوتر بذاته- وتكون فى هذه الحالة لدينا عقدتان وبطن .

ويمكن للوتر أن يهتز بكيفيات أخرى، حيث يمكن تقسيم الوتر إلى قطاعات Segments

كأن يكون لدينا مثلاً قطاعان (ثلاث عقد وبطنان). أو ثلاثة قطاعات (أربع عقد وثلاثة بطون) إلى آخره، كما فى (شكل ٢-١٧). وعندما يهتز الوتر على هيئة قطاع واحد (ع$2 = \lambda$) يصدر نغمته الأساسية Fundamental Frequency .(أو التوافقية الاولى First Harmonic). وعندما يهتز الوتر على هيئة قطاعين ويصدر الوتر نغمته الفوقية الأولى First Overtone (أو التوافقية الثانية Second Harmonic) وترددها يساوى ضعف تردد النغمة الأساسية. وعندما يهتز الوتر على هيئة ثلاثة قطاعات يصدر الوتر نغمته الفوقية الثانية Second Overtone، (أو التوافقية الثالثة Third Harmonic)وترددها يساوى ثلاثة أمثال تردد النغمة الأساسية.

وبالرجوع إلى الشكل (٢-١٧)، يمكن أن نتبين وجود علاقة بين طول الوتر (ع)، وعدد القطاعات (n) التى ينقسم اليها عند إهتزازه، وكذا الطول الموجى λ للنغمة التى يصدرها.

وهذه العلاقة على الصورة الآتية :

$$ع = \frac{n\,\lambda}{2}$$

ومنها يكون

$$\boxed{\lambda = \frac{2ع}{n}} \qquad (2 - 3)$$

وتتعين سرعة إنتشار الموجات المستعرضة فى وتر من العلاقة

$$\boxed{v = \sqrt{\frac{F_T}{m}}} \qquad (2 - 4)$$

حيث F_T قوة الشد بالنيوتن ، m كتلة وحدة الأطوال من مادة الوتر (الكثافة الطولية) ووحدتها kg/m. وحيث أن تردد الموجة المتشرة يحسب من العلاقة :

$$\boxed{\nu = \frac{v}{\lambda}} \qquad (2 - 5)$$

إذاً بالتعويض عن v ، λ من (2-3) ، (2 - 4) يكون :

$$\boxed{\nu = \frac{n}{2ع}\sqrt{\frac{F_T}{m}}} \qquad (2 - 6)$$

فى هذه العلاقة فإن (n) عبارة عن عدد القطاعات التى ينقسم إليها الوتر أثناء اهتزازه وعلى ذلك فإن عند (n = 1) يصدر الوتر نغمته الأساسية Fundamental (أو التوافقية الاولى) وترددها ν_1 هو

$$\nu_1 = \frac{1}{2ع}\sqrt{\frac{F_T}{m}}$$

وعند (n = 2) يصدر الوتر نغمته الفوقية الأولى First Overtone (أو التوافقية الثانية Second Harmonic) وترددها ν_2 هو :

$$\nu_2 = \frac{2}{2ع}\sqrt{\frac{F_T}{m}}$$

وعند (n = 3) يصدر الوتر نغمته الفوقية الثانية Second Overtone (أو التوافقية الثالثة Thrid Harmonic) وترددها ν_3 هو :

$$\nu_3 = \frac{3}{2ع}\sqrt{\frac{F_T}{m}}$$

ومنها نجد أن نسبة ترددات النغمة الأساسية والنغمات التوافقية التى يمكن أن يصدرها نفس الوتر $\nu_1 : \nu_2 : \nu_3$ هى 1 : 2 : 3 على الترتيب.

ويمكن أن تتواجد هذه النغمات فى آن واحد إذا جذب الوتر وترك يتذبذب، وتسمى هذه النغمات أنماط Modes. أما إذا اتصل الوتر بمصدر مهتز له أحد الترددات المحددة للوتر فإن النمط الغالب وهو تردد المصدر نفسه هو الذي يسود.

أمثلة :

١- وتر طوله ع مشدود بقوة شد معينة يصدر نغمة أساسية ترددها 50 Hz أوجد تردده عندما يتناقص طوله الى النصف.

الحل :

$$\nu_1 \, ع_1 = \nu_2 \, ع_2$$

$$50 \, ع_1 = \nu_2 \, \frac{ع_1}{2}$$

ومنها $\nu_2 = 100$ Hz

٢- وتر مشدود تغيرت قوة شده من 6.4kgwt إلى 8.1kgwt مع عدم تغير طوله. أوجد النسبة بين ترددية فى الحالتين علما بأنه يصدر نغمة أساسية فى كل حالة(1kgwt = 10N).

الحل : $(F_T)_1 = 6.4$ kgwt

$(F_T)_2 = 8.1$ kgwt

ومنها :

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \sqrt{\frac{(F_T)_1}{(F_T)_2}}$$

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \sqrt{\frac{6.4}{8.1}} = \sqrt{\frac{64}{81}} = \frac{8}{9}$$

٣- وتر طوله واحد متر وكتلته 1×10^{-3} kg مشدود بقوة مقدارها 20kgwt (عجلة الجاذبية الأرضية $9.8\ ms^{-2}$) ما تردد نغمته الأساسية؟

الحل :

$$m = \frac{1 \times 10^{-3}}{1} = 0.001\ kg/m$$

$$F_T = 20 \times 9.8 = 196\ N$$

$$\nu = \frac{n}{2ع}\sqrt{\frac{F_T}{m}}$$

$$\nu = \frac{1}{2 \times 1} \times \sqrt{\frac{196}{0.001}} = 221.26\ Hz$$

٤- وتر من الصلب طوله واحد متر يهتز على شكل قطاعين إذا كان مشدوداً بقوة مقدارها 8kgwt وعجلة الجاذبية ($g = 9.8\ ms^{-2}$) احسب تردد النغمة التى يصدرها إذا كانت كتلة وحدة الأطوال منه 0.001 kg/m

الحل ع = 1m , $n = 2$, $F_T = 8 \times 9.8 = 78.4N$, $m = 0.001 = kg/m$

$$\nu = \frac{n}{2ع}\sqrt{\frac{F_T}{m}}$$

$$\therefore \quad \nu = \frac{2}{2 \times 1}\sqrt{\frac{78.4}{0.001}} = 280\ Hz$$

٥- وتر قوة شده 10kgwt وكتلة وحدة الأطوال منه 0.01 kg/m أحسب سرعة إنتشار موجة مستعرضة فى هذا الوتر بفرض أن عجلة الجاذبية تساوى $10\ ms^{-2}$

الحل : $F_T = 10 \times 10 = 100\ N$, $m = 0.01\ kg/m$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{100}{0.01}} = 100\ m/s$$

تلخيـــص

- قانونا انعكاس الصوت :

١- زاوية السقوط = زاوية الأنعكاس.

٢- الشعاع الصوتى الساقط والشعاع الصوتى المنعكس والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس تقع جميعها فى مستوى واحد عمودى على السطح العاكس.

- يغير الصوت من اتجاه انتشاره (ينكسر) عند انتقاله من وسط الى وسط آخر بسبب اختلاف سرعة الصوت فى الوسط الثانى عن سرعته فى الوسط الأول.

بحيث يكون :

$$\frac{\sin \phi}{\sin \theta'} = \frac{v_1}{v_2}$$

حيث ϕ زاوية السقوط فى الوسط الأول و v_1 سرعة الصوت فيه، و θ زاوية الانكسار فى الوسط الثانى v_2 سرعة الصوت فيه.

- تتداخل الأصوات المتساوية التردد والسعة، وينتج عن التداخل تقوية فى شدة الصوت فى بعض المواضع، وانعدام فى الشدة فى بعض المواضع الأخرى.

- يحيد الصوت عن مساره عند مروره بعائق أو نفاذه من فتحة مقاربة فى اتساعها لطول موجة الصوت.

- في الموجات الموقوفة تكون

- البطن هى الموضع الذى تكون فيه سعة الاهتزازة نهاية عظمى.

- العقدة هي الموضع الذى تنعدم فيه سعة الاهتزازة.

- طول الموجة الموقوفة هو ضعف المسافة بين بطنين متتاليتين أو ضعف المسافة بين عقدتين متتاليتين.

- عندما يهتز وتر بحيث ينقسم الى عدة قطاعات فإن : $\bar{ع} = \frac{n\lambda}{2}$

حيث ع طول الوتر، n عدد القطاعات ، λ الطول الموجى للموجات الموقوفة، وهو نفسه طول موجة النغمة التى يصدرها الوتر.

- تتعين سرعة انتشار موجة مستعرضة فى وتر من العلاقة $v = \sqrt{\frac{F_T}{m}}$ حيث F_T قوة الشد، m كتلة وحدة الأطوال من مادة الوتر.

- يتعين تردد النغمة التى يصدرها وتر من العلاقة :

$$\nu = \frac{n}{2ع}\sqrt{\frac{F_T}{m}}$$

- نسبة تردد النغمة الأساسية التى يصدرها وتر إلى ترددات النغمات التوافقية المصاحبة هى :

1 : 2 : 3 : 4 : .....etc.

- يتوقف تردد النغمة الأساسية التى يصدرها وتر على العوامل الآتية :

(١) طول الوتر (2) قوة الشد (3) كتلة وحدة الأطوال منه.

- يتناسب تردد النغمة الأساسية التى يصدرها وتر معين تناسباً عكسياً مع طول الوتر مع ثبوت قوة الشد وكتلة وحدة الأطوال منه.

- يتناسب تردد النغمة الأساسية التى يصدرها وتر معين تناسباً طردياً مع الجذر التربيعى لقوة الشد مع ثبوت طوله وكتلة وحدة الأطوال منه.

- يتناسب تردد النغمة التى يصدرها وتر معين تناسباً عكسياً مع الجذر التربيعى لكتلة وحدة الأطوال منه مع ثبوت طوله وقوة شده.

أسئلة وتمارين

أولا: أسئلة المقال

١- اذكر قانونى انعكاس الصوت

٢- بين كيف توضح ظاهرة التداخل فى الصوت

٣- اشرح العبارة الآتية :

الصوت حركة موجية

ثانيا: عرف كلا من

١- البطن ٢ - العقدة ٣- طول الموجة الموقوفة

ثالثا: أكمل العبارات التالية

(أ) تتعين سرعة انتشار الموجة المستعرضة فى وتر من العلاقة :

v = ...

(ب) يتعين تردد النغمة التى يصدرها وتر من العلاقة :

ν = ...

(جـ) مع ثبوت قوة الشد يتناسب تردد وتر معين تناسبا ..... مع طوله

(د) مع ثبوت طول وتر معين يتناسب تردد النغمة الأساسية تناسباً طردياً مع .....

(هـ) مع ثبوت طول الوتر وقوة شده يتناسب تردد النغمة الأساسية تناسباً عكسياً مع .....

رابعا: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتى

١- تنشأ الموجات الموقوفة من تراكب حركتين موجيتين تنتشران فى:

(أ) اتجاه واحد

(ب) اتجاهين متضادين بشرط تساويهما فى التردد والسعة.

(جـ) اتجاهين متضادين دون شرط تساويهما فى التردد والسعة.

(د) اتجاهين متعامدين.

٢- طول الموجة الموقوفة هو :

(أ) المسافة بين بطنين متتاليين (ب) المسافة بين عقدتين متتاليتين.

(جـ) نصف المسافة بين بطنين متتاليين أو عقدتين متتاليتين.

(د) ضعف المسافة بين بطنين متتاليين أو عقدتين متتاليتين.

٣- تتعين سرعة انتشار موجة مستعرضة فى وتر من العلاقة :

(أ) $v = \frac{m}{2ع}\sqrt{\frac{F_T}{m}}$ (ب) $v = \sqrt{\frac{F_T}{m}}$ (جـ) $v = \frac{F_T}{m}$ (د) $v = \sqrt{\frac{m}{F_T}}$

٤- العوامل المؤثرة فى تحديد تردد النغمة الأساسية لوتر هى:

أ) طول الوتر (ب) قوة شد الوتر (جـ) كتلة وحدة الأطوال لمادة الوتر (د) كل العوامل السابقة.

٥ - تكونت موجة موقوفة فى وتر مشدود فكانت المسافة بين عقدتين متتاليتين تساوى 0.5m عندئذ يكون طول الموجة الموقوفة :

(أ) نصف متر (ب) متر واحد (جـ) مترين (د) أربعة أمتار.

٦ - وتر مشدود تسرى فيه موجة مستعرضة، فإذا كانت قوة شده 10 kg wt وكتلة وحدة الأطوال منه هى 0.02 kg/m وكانت عجلة الجاذبية 9.8 m/s^2 تكون سرعة انتشار الموجة فى الوتر هى :

(أ) 35 m/s (ب) 140 m/s (جـ) 70 m/s (د) 210 m/s

٧- وتر مشدود بقوة شد 10 kg wt وكتلة وحدة الأطوال منه 0.02 kg/m وعجلة الجاذبية 9.8 ms^{-2} فإذا كان طوله يساوى 0.5m فإن تردد نغمته التوافقيةالثانية هو :

(أ) 70 Hz (ب) 210 Hz (جـ) 140 Hz (د) 35 Hz

الموجـــات

الوحدة الأولى

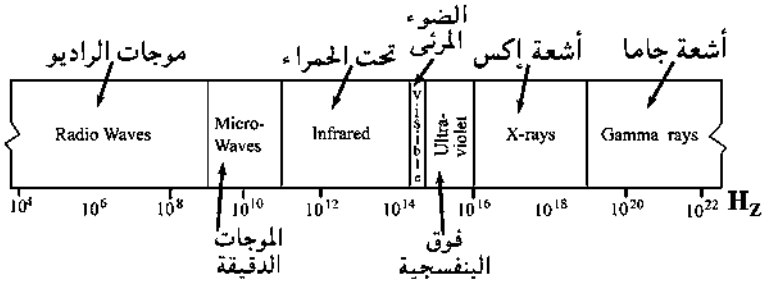
الفصل الثالث : الضـــوء

الفصل الثالث
الضـــــــــوء

مقدمة :

الضوء أحد صور الطاقة التى لايستغنى عنها الإنسان. فمن المعروف أن الشمس هى أحد المصادر الطبيعية للطاقة . ويمكن القول أن معظم طاقة الشمس تنقسم إلى ضوء وحرارة. ولولا ضوء الشمس لما استطاعت النباتات أن تقوم بعملية البناء الضوئى ، وماكان الإنسان يجد غذاءه الذى يحصل عليه من النبات والحيوان ، الذى يتغذى أيضا على النبات.

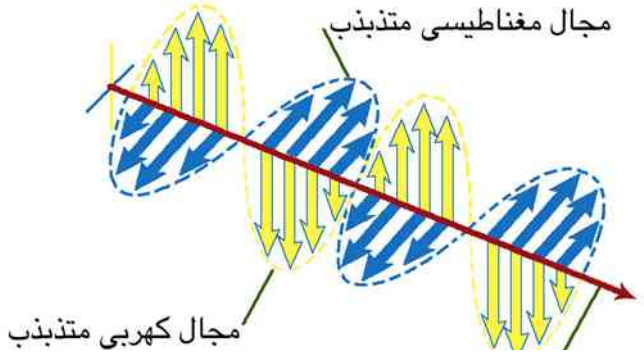
وقد رأينا فى الفصل السابق أن للصوت طبيعة موجية. فهو ينتشر من مصدره محدثا فى الوسط المحيط نوعا من الموجات تسمى الموجات الميكانيكية. كذلك فإن الضوء له طبيعة موجية . فهو يخضع لظواهر الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود. إلا أن الضوء يختلف عن الصوت من حيث أنه لايحتاج إلى وسط مادى لانتشاره. فالضوء جزء من مدى واسع من الموجات تسمى الموجات الكهرومغناطيسية تنتشر جميعها بسرعة ثابتة فى الفراغ قدرها $3x10^8$ m/s ، وتتباين فيما بينها فى ترددها، معطية مايسمى الطيف الكهرومغناطيسى Electromagnetic Spectrum (شكل ٣ - ١). ويشمل على سبيل المثال موجات الراديو Radio Waves، وموجات الأشعة تحت الحمراء Infrared ، وموجات الضوء المنظور Visible Light ، وموجات الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet ، وموجات الأشعة السينية X-rays ، وموجات أشعة جاما Gamma (γ)-rays، وجميعها لها خواص مشتركة. فهى تنتشر أو تنتقل فى الفضاء بنفس السرعة، وجميعها موجات مستعرضة. كما أن طبيعتها واحدة من حيث إنها موجات كهرومغناطيسية ، وإن كانت تختلف في ترددتها وأطوالها الموجية.



شكل (٣ - ١)

الطيف الكهرومغناطيسى

والموجات الكهرومغناطيسية تتكون من مجالات كهربية ومجالات مغناطيسية مهتزة بتردد V و متفقة فى الطور ومتعامدة بعضها على البعض الآخر من ناحية ، ومتعامدة على إتجاه إنتشارها من ناحية أخرى (شكل ٣ - ٢)، فهى بذلك موجات مستعرضة.



شكل (٣ - ٢)

الموجات الكهرومغناطيسية تتكون من مجالات كهربية ومغناطيسية متعامدة على بعضها وعلى اتجاه انتشار الموجة.

انعكاس الضوء وانكساره :

ينتشر الضوء فى جميع الاتجاهات فى خطوط مستقيمة مالم يصادفه وسط عائق. فإذا صادفه عائق فإنه يعانى انعكاسا أو انكسارا أو امتصاصا بنسب مختلفة حسب طبيعة الوسط العائق.

عند سقوط شعاع ضوئى على سطح فاصل بين وسطين مختلفين فى الكثافة الضوئية ، فإن جزءاً من الضوء ينعكس، والجزء الآخر ينكسر مع اهمال الجزء الممتص.

ونلاحظ من الشكل (٣ - ٣) مايلى:

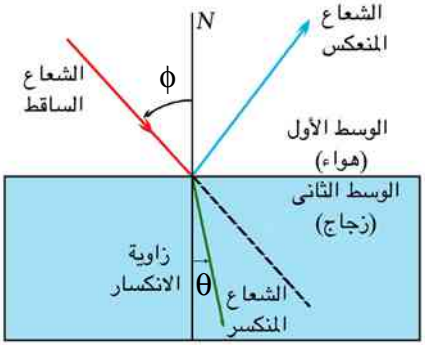
يقع كل من الشعاع الساقط والمنعكس والمنكسر و العمود المقام على السطح الفاصل من نقطة السقوط فى مستوى واحد عمودى على السطح الفاصل.

- فى حالة الإنعكاس:

زاوية السقوط = زاوية الإنعكاس.

- فى حالة الإنكسار:

النسبة بين جيب زاوية السقوط فى الوسط الأول إلى جيب زاوية الانكسار فى الوسط الثانى كالنسبة بين سرعة الضوء فى الوسط الأول إلى سرعة الضوء فى الوسط الثانى وهى نسبة ثابتة لهذين الوسطين ويطلق عليها اسم



شكل (٣ - ٣)

انعكاس وانكسار الضوء

معامـل الانكسار النسبى من الوسط الأول إلى الوسط الثانى ويرمز له بالرمز $_1n_2$ ،أى أن

$$\frac{\sin\phi}{\sin\theta} = \frac{v_1}{v_2} = {}_1n_2 \qquad (3-1)$$

نتائج هامة:

(١) تعـد سـرعـة الضـوء فـى الفضـاء أو الفـراغ مـن الثوابـت الكـونية وتسـاوى 3×10^8 m/s وسرعة الضوء فى الفضاء أو الفراغ أكبر من سرعته فى أى وسط مادى. وإذا رمزنا لسرعة الضوء فى الفراغ بالرمز c ولسرعة الضوء فى الوسط المادى بالرمز v فإن النسبة $\frac{c}{v}$ تسمى معامل الانكسار المطلق لهذا الوسط ويرمز له بالرمز n وقيمته أكبر من الواحد الصحيح .

$$n = \frac{c}{v} \qquad (3-2)$$

ومعاملات انكسار بعض المواد مدرجة فى الجدول الآتى :

الوسط المادى	معامل الانكسار له n
الهـــــــــــواء	1.00293
المـــــــــــاء	1.333000
الـــبـــنـــزيـــن	1.501000
رابـع كـلـوريـد الـكـربـون	1.461000
الكحـــول الإيثـــيلى	1.361000
الـزجـــاج الـتـــاجـى	1.52000
الـزجـــاج الـصـــخـــرى	1.660000
الـــكـــوارتـــز	1.4850000
المـــــــــــاس	2.419000

(٢) من العلاقة (3-2) يتضح أن : $v = \frac{c}{n}$

أى أن $\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$

ومنها يكون

$$_1n_2 = \frac{n_2}{n_1} \qquad (3-3)$$

بالتعويض من (3-3) فى (3-1) $\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\phi}{\sin\theta}$

أى أن

$$n_1 \sin\phi = n_2 \sin\theta \qquad (3-4)$$

وهذا ما يعرف بقانون سنل Snell's Law.

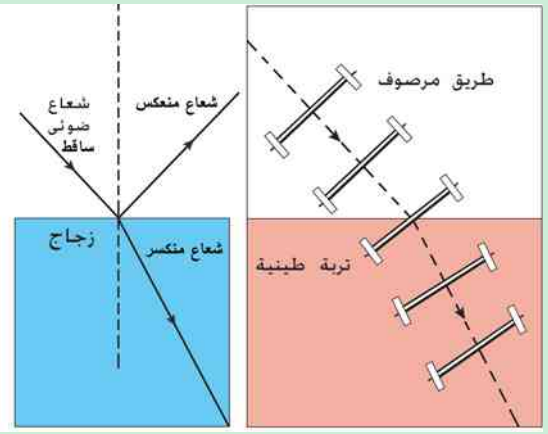
أى أن معامل الإنكسار المطلق لوسط السقوط فى جيب زاوية السقوط يساوى معامل الإنكسار المطلق لوسط الأنكسار فى جيب زاوية الإنكسار.

٣ - يمكن استخدام الانكسار فى تحليل حزمة ضوئية إلى مركباتها ذات الأطوال الموجية المختلفة حيث يختلف معامل الانكسار المطلق تبعا للطول الموجى، ولذلك يتشتت الضوء الأبيض إلى مكوناته، ويمكن ملاحظة ذلك فى فقاعات الصابون.

معلومة إثرائية

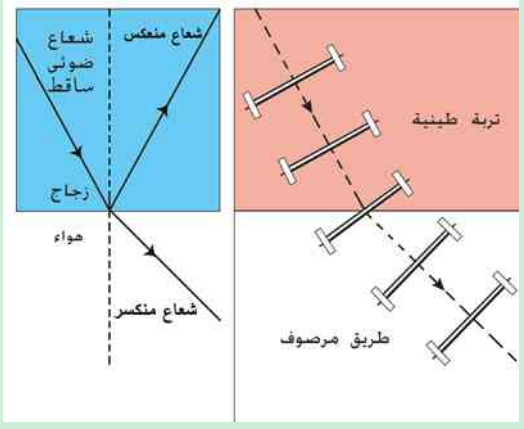
تفسير الانكسار

إذا سقط الضوء من وسط أقل كثافة إلى وسط أعلى كثافة اقترب الشعاع المنكسر من العمود ويماثل ذلك عربة تدخل إحدى عجلاتها في منطقة طينية تبطئها، بينما العجلة الأخري أسرع، فيحدث انحناء في المسار (شكل ٣-٤). والعكس حين يحدث انكسار من المنطقة أعلي في الكثافة إلي منطقة أقل فى الكثافة فيكون الشعاع المنكسر بعيدا عن العمود (شكل ٣-٥).



شكل (٣ - ٤)

إنكسار من وسط أقل كثافة إلى وسط أكبر كثافة



شكل (٣ - ٥)

إنكسار من وسط أكبر كثافة إلى وسط أقل كثافة

أمثلة :

١- اذا سـقط شـعـاع ضـوئى على سطح لوح زجـاجى مـعـامل انكسـاره 1.5 بزاوية سـقـوط 30° فاحسب زاوية الانكسار.

الحـــل

$$\because \quad n = \frac{\sin \phi}{\sin \theta}$$

$$\therefore \quad 1.5 = \frac{\sin 30}{\sin \theta}$$

$$\sin \theta = \frac{0.5}{1.5} = 0.333$$

$$\therefore \quad \theta = 19^\circ 28' \quad \therefore \text{ ومنها}$$

٢- إذا كان معامل الانكسار المطلق للماء $\frac{4}{3}$ ومعامل الانكسار المطلق للزجاج $\frac{3}{2}$ فأوجد :

(أ) معامل الإنكسار النسبى من الماء إلى الزجاج.

(ب) معامل الإنكسار النسبى من الزجاج إلى الماء.

الحل : (أ) معامل الانكسار النسبى من الماء إلى الزجاج.

$$_1n_2 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{3}{2}}{\frac{4}{3}} = \frac{9}{8}$$

(ب) معامل الانكسار النسبى بين الزجاج والماء.

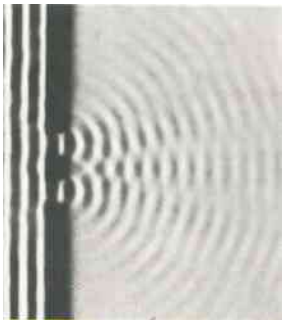
$$_2n_1 = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{4}{3}}{\frac{3}{2}} = \frac{8}{9}$$

ومن هذا المثال نتبين أن : $_1n_2 = \frac{1}{_2n_1}$ وهى نتيجة هامة.

تداخل الضوء : Light Interference

أجرى توماس ينج Young تجربة لدراسة ظاهرة التداخل فى الضوء فيما يعرف باسم تجربة الشق المزدوج Double Slit Experiment، وهى موضحة بالشكل (٣-٦). فى هذا الشكل مصدر ضوئى أحادى اللون Monochromatic Source أى أن للطول الموجى λ قيمة واحدة

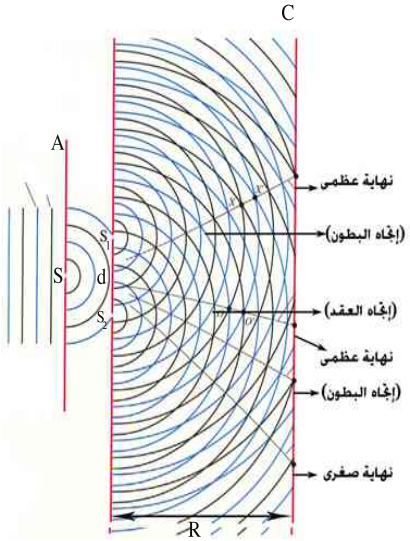
ثابتة، يقع على بعد مناسب من حاجز به فتحة مستطيلة ضيقة S تمر خلالها موجات اسطوانية نحو حاجز به فتحتان مستطيلتان ضيقتان S_1 ، S_2 ، تعملان كشق مزدوج. تقع S_1 ، S_2 على نفس صدر الموجة الاسطوانية. لذلك يكون للموجات التى تصلها نفس الطور. وتسلك الفتحتان المستطيلتان سلوك المصادر المترابطة، وهى تلك المصادر التى تكون موجاتها متساوية التردد والسعة ولها نفس الطور. وتنتشر الحركتان الموجيتان الصادرتان من الفتحتين S_1 ، S_2 على هيئة موجات اسطوانية خلف الحاجز ، متخذة طريقها نحو الحائل المعد لاستقبالها C.



شكل (٣ - ١٦)

ظاهرة التداخل فى

تجربة يونج

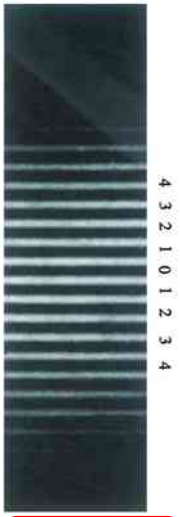


شكل (٣ - ١٦ب)

رسم تخطيطى

لتجربة يونج

وعلى الحائل C تتراكب موجات الحركتين الموجيتين القادمتين اليه من S_1 ، S_2. ونتيجة لهذا التراكب تظهر مجموعة التداخل التى تبدو كمجموعة من المناطق المستقيمة المتوازية، وهى عبارة عن مناطق مضيئة تتخللها أخرى مظلمة تعرف باسم هدب التداخل Interference Fringes، كما فى الشكل (٣ - ٧).



شكل (٣ - ٧)

هدب التداخل

المسافة بين أى هدبتين متتاليتين Δy من نفس النوع تتعين من العلاقة.

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d} \qquad (3-5)$$

حيث λ طول موجة الضوء الأحادى اللون المستخدم، R المسافة بين الشق المزدوج والحائل المعد لإستقبال الهدب و d المسافة بين S_1 ، S_2

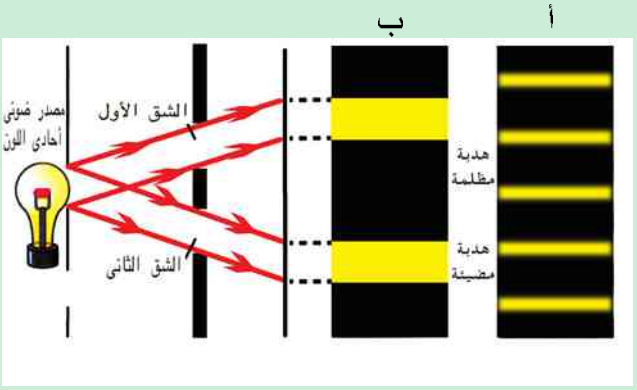
لذلك تستخدم هذه التجربة لتعيين الطول الموجى لأى ضوء أحادى اللون.

معلومة إثرائية

تفسير التداخل فى تجربة توماس ينج

لو لم يكن الضـوء مـوجـات تتداخل وانتشر الضوء من الفتحتين لحـصلنا على الهـدب كـمـا فى الشكل (٣ - ٨ ب).

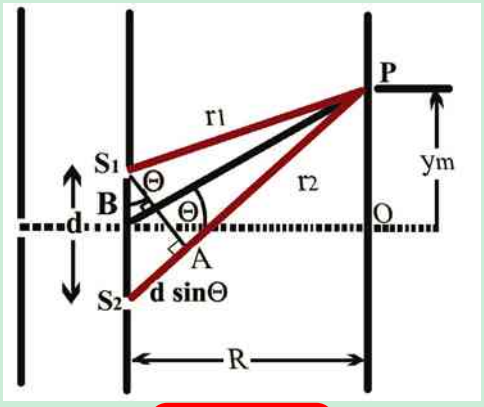
يمكن تفـسـيـر تكوين هدب التـداخل البناء والتـداخل الهـدمى التى تظهـر فى تجـربة الشق المزدوج لينج كما يلى.



شكل (٣ - ٨)

أ- الهدب الناتجة عن التداخل.
ب- الهدب لو لم يكن هناك تداخل.

إذا كان بعد الشـاشـة عن الشق المزدوج R كـبـيـرا نـسـبـيـا بالمقـارنة بالمسافة d بين فتحتى الشق المزدوج فإنه يمكن اعتبار الشعاعين (r_2, r_1) الصادرين من فتحتى الشق المزدوج فى طريقيهما إلى الحائل فى حالة توازى .



شكل (٣ - ٩)

فرق المسار يحدد هدب التداخل فى تجربة ينج

وإذا كانت θ هى زاوية ميل الشعاعين r_2 , r_1 فإن فرق المسار بين هذين الشعاعيـن هو Δr، كمـــا هو مبـيـن (شكل ٣ - ٩).

وهذا الفرق يمكن حسابه من العلاقة

$$\Delta r = d \sin \theta$$

حيث d المسافة بين فتحتى الشق المزدوج.

وإذا كان الفرق فى مسار الشعاعين مساويا عدد m من الأطوال الموجية حيث m عدد صحيح فإن

$$\Delta r = d \sin \theta = m\lambda$$

وعلى ذلك فإن نقطة تلاقى هذه الأشعة على الشاشة تكون هدبة مضيئةعندما يكون

$$\sin\theta = \theta = \frac{m\lambda}{d} = \frac{y}{R}$$

$$y = m\frac{\lambda R}{d}$$

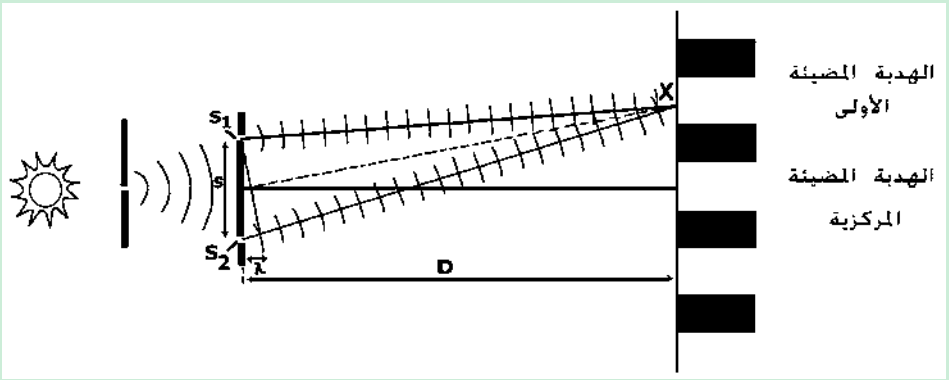
أما إذا كان فرق المسار بين الشعاعين (r_2, r_1) مساوياً $(m+1/2)$ من الأطوال الموجية

أى $\Delta r = d \sin\theta = (m+1/2)\lambda$ فإن نقطة تلاقى هذه الأشعة على الشاشة تكون هدبة مظلمةعندما يكون

$$\sin\theta = \theta = \frac{(m+1/2)\lambda}{d} = \frac{y}{R}$$

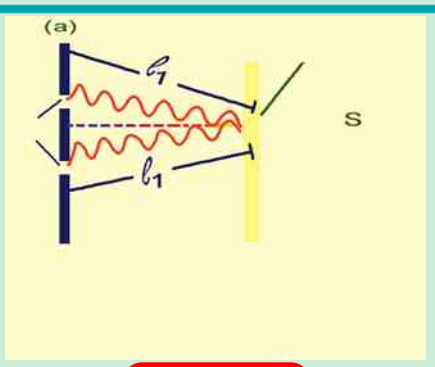
$$y = (m+1/2)\frac{\lambda R}{d}$$

وهكذا يتتابع ظهور الهدب المضيئة والهدب المظلمة فى نموذج التداخل المبين على الشاشة حسب فرق المسار بين الشعاعين المنطلقين من الفتحتين إلى نقطة على الشاشة (شكل ٣ -١٠). وتعرف قيمة المقدار m سواء بالنسبة للهدب المضيئة أو الهدب المظلمة باسم رتبة الهدبة (شكل ٣ - ١١).



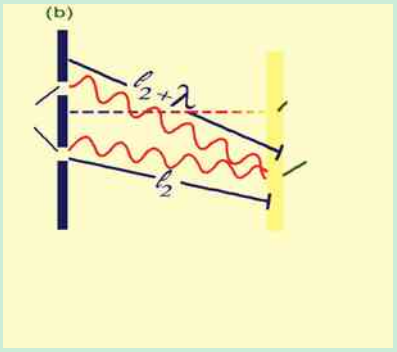
شكل (٣ - ١٠)

تتتابع الهدب كلما كان فرق المسار بين الشعاعين طولاً موجياً



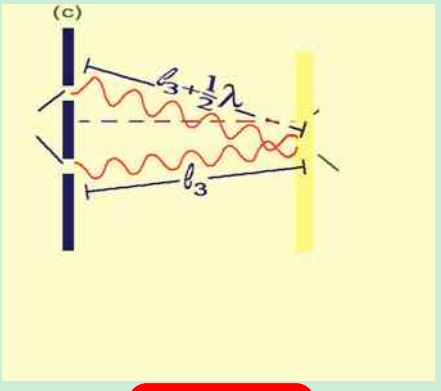
شكل (٣ - ١١أ)

هدبة مضيئة فى المنتصف



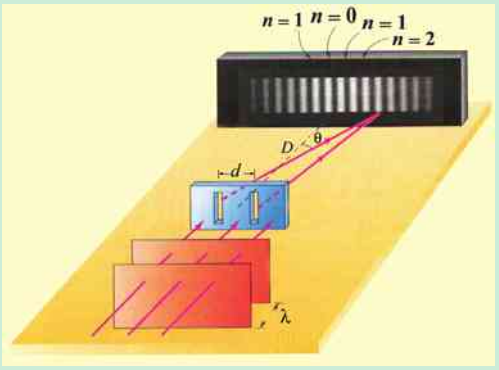
شكل (٣ - ١١ب)

عند $\Delta r = m\lambda$ هدبة مضيئة



شكل (٣ - ١١جـ)

عند $\Delta r = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$ هدبة مظلمة



شكل (٣ - ١١د)

رتبة الهدبة

مثال : فى تجربة الشق المزدوج كانت المسافة بين الفتحتين المستطيلتين الضيقتين 0.00015 m وكانت المسافة بين الشق والحائل المعد لاستقبال الهدب 0.75 m وكانت المسافة بين هدبتين مضيئتين هى 0.003 m احسب الطول الموجى للضوء الأحادى اللون المستخدم.

الحل :

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d}$$

$$0.003 = \frac{0.75 \times \lambda}{0.00015}$$

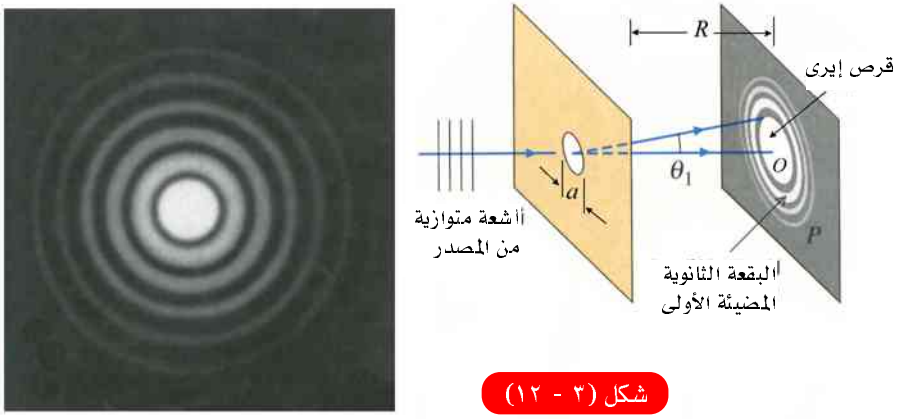
$$\lambda = \frac{0.00015 \text{ x } 0.003}{0.75} = 0.6 \text{ x } 10^{-6} \text{ m}$$

$$\lambda = 10^{10} \text{ x } 0.6 \text{ x } 10^{-6} = 6000 \text{ A}^\circ$$

حيود الضوء : Light Diffraction

عندما يسقط ضوء أحادى اللون على فتحة دائرية فى حاجز ، فإننا نتوقع تبعاً لمعلوماتنا عن انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة أن تتكون على الحائل الموضح فى الشكل بقعة دائرية مضيئة محددة.

لكن دراسة البقعة المضيئة عن قرب ـ وتسمى قرص إيرى Airy Disk– وبعبارة أخرى دراسة توزيع الإضاءة على الحائل - تظهر وجود هدب مضيئة وأخرى مظلمة كما فى الشكل (٣ - ١٢).

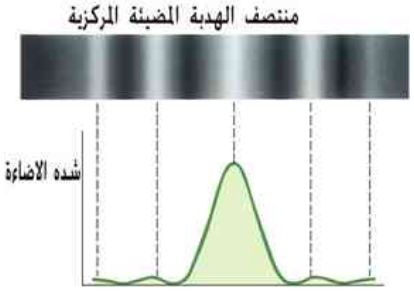


شكل (٣ - ١٢)

الحيود على فتحة دائرية

ويوضح الشكل (٣-١٣) الحيود على فتحة مستطيلة ، بينما يوضح الشكل (٣-١٤) نماذج مختلفة للحيود على حدود فاصلة للمادة. وبصفة عامة يظهر الحيود بوضوح إذا كان الطول الموجى مقارباً لأبعاد فتحة العائق والعكس صحيح (شكل ٣ -١٥).

وجدير بالذكر أنه لا يوجد فرق جوهرى بين نموذجى التداخل والحيود، فكل منهما ينشأ من تراكب موجات (شكل ٣ - ١٦).

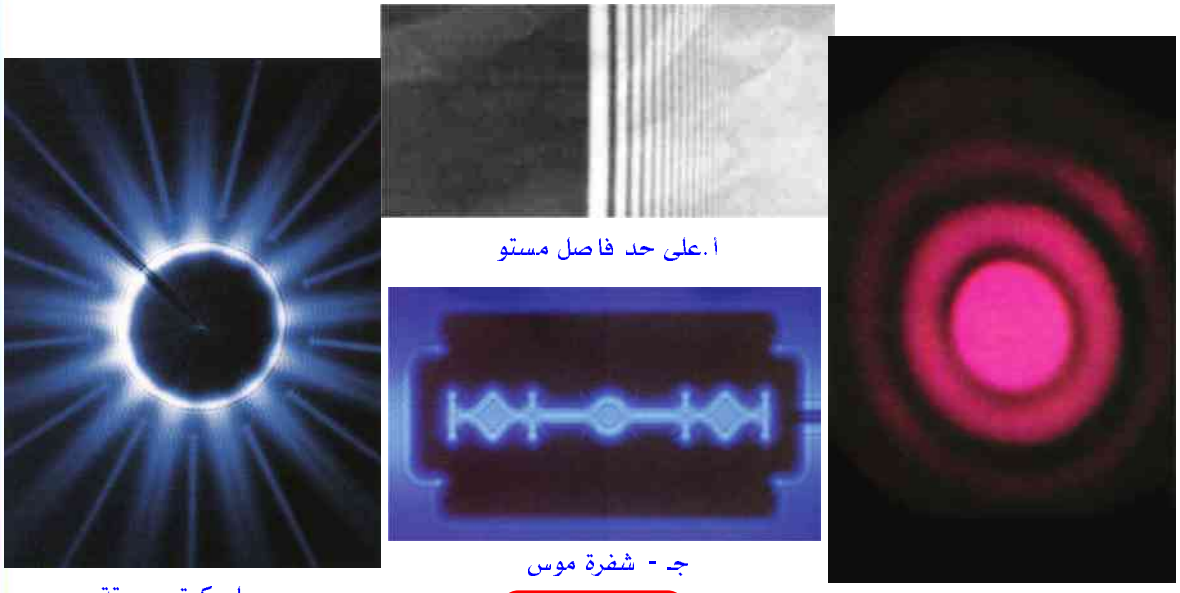


شكل (٣ - ١٣ب)

توزيع شدة الاضاءة على الحائل مع تتابع الهدب الناشئة من الحيود على فتحة مستطيلة

شكل (٣ - ١٣أ)

الحيود على فتحة مستطيلة



أ. على حد فاصل مستو

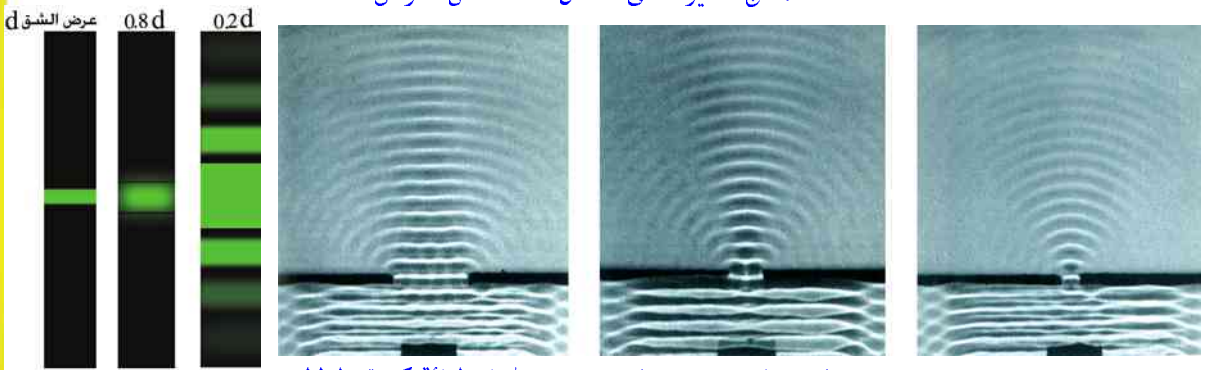
ب. من فتحة دائرية

جـ - شفرة موس

د. على كرة مصمتة

شكل (٣ - ١٤)

نماذج الحيود على أشكال مختلفة من العوائق



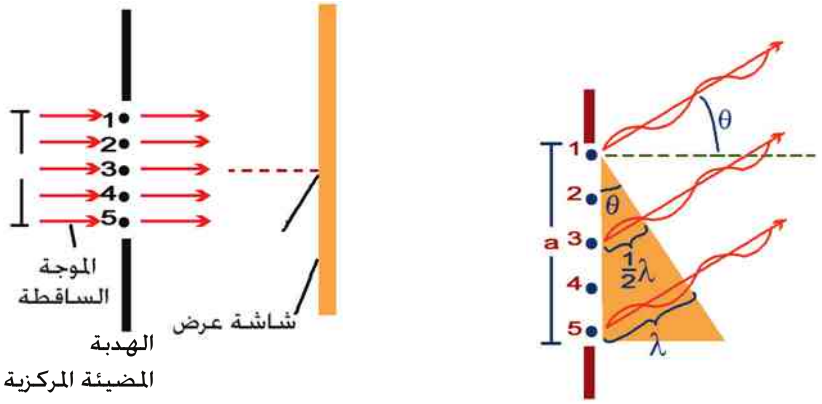
أ. أبعاد العائق صغيرة ومقاربة للطول الموجى

ب. أبعاد العائق متوسطة

حـ. أبعاد العائق كبيرة والطول الموجى صغير بالنسبة لها

د. الهدب تكون أوضح فى الفتحات الضيقة

شكل (٣ - ١٥)



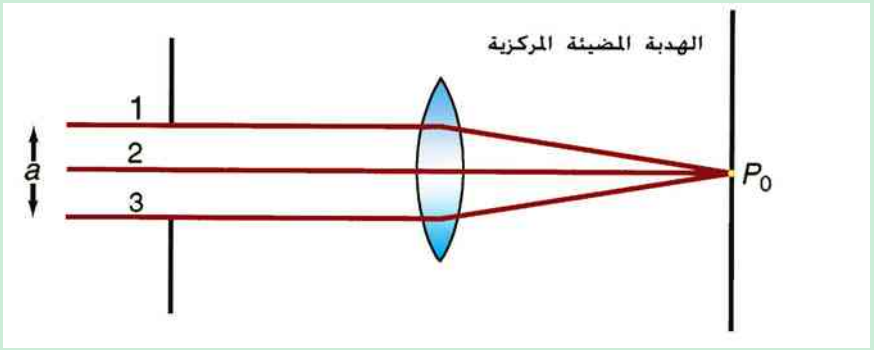
شكل (٣ - ١٦)

الحيود هو تداخل موجات ثانوية صادرة من نقاط مختلفة من الفتحة

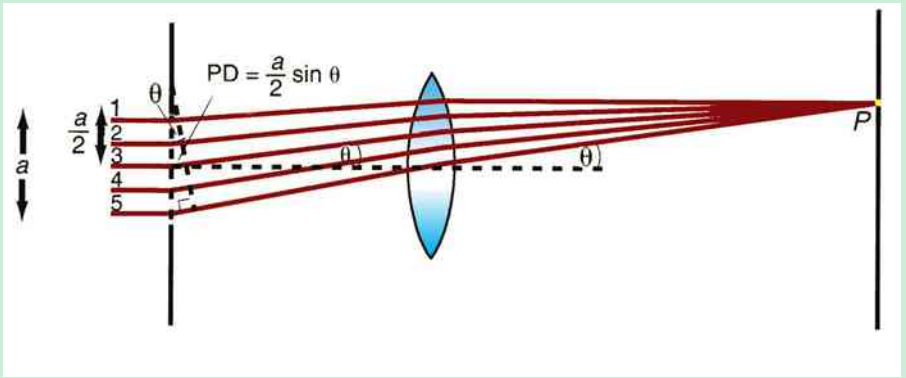
معلومة إثرائية

تفسير الحيود

لتفسير كيف ينشأ نموذج الحيود (هدب مضيئة تتخللها هدب مظلمة) يوضح شكل (٣-١٧) موجة مستوية تتقدم نحو حائل به شق مستطيل يوجد أمامه على بعد كبير نسبيا شاشة بيضاء موازية له. طبقا للنظرية الموجية تعتبر نقاط صدر الموجة على امتداد الشق بمثابة مـصـادر تشع مـويجـات ثانوية Secondary Wavelets. والضوء الصـادر من هذه المويجات يسقط كحزمة متوازية على الشاشة عند نقطة على نفس استقامة مركز الشق بالحائل وتعمل العدسة على تجميع الأشعة عند نقطة محددة P على الشاشة. وفى هذه الحالة تكون جميع مويجات الضوء الساقطة على الشاشة لها نفس الطور. لذلك يحدث بينها تداخل بناء يظهر على شكل هدبة مضيئة (شكل ٣-١٧ أ) .

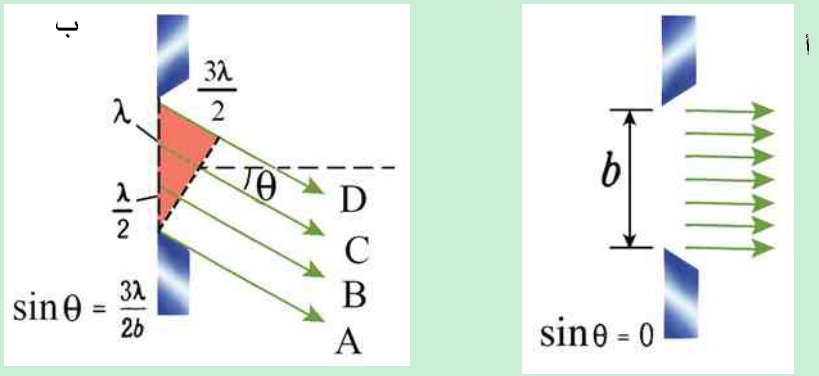


شكل (٣ - ١٧أ)
تكون الهدبة المضيئة المركزية



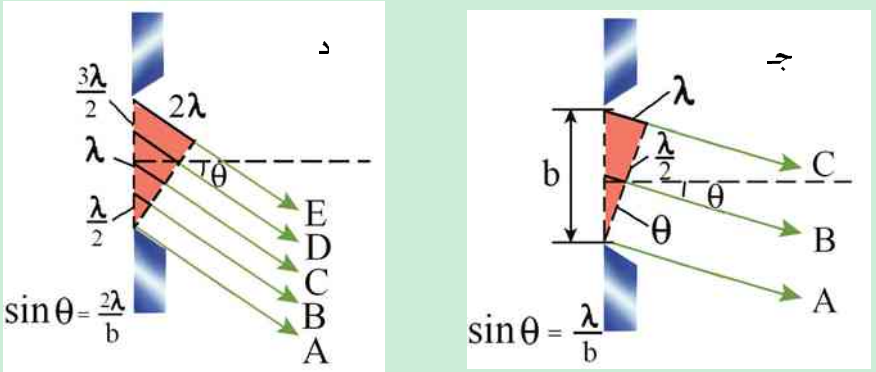
شكل (٣ - ١٧ب)
تتابع تكون الهدب

وعندما تسقط الحزمة الضوئية للمويجات الثانوية على الشاشة البيضاء بزاوية θ مع المستقيم الواصل بين مركز الشق ومركز الهدبة المضيئة على الحائل (شكل ٣-١٧ب) فإن أشعة الضوء الصادرة تتداخل، بحيث أن الفرق فى المسار بين الشعاع المنبعث من أعلى نقطة فى النصف العلوى من الفتحة مع الشعاع المنبعث من أسفل نقطة فى النصف السفلى من الفتحة هو عدد صحيح من λ ، فإنه يحدث تداخل هدام. وإن كان الفرق عددا فرديا من $\frac{\lambda}{2}$ يحدث تداخل بناء (شكل٣ - ١٨).



شكل (٣ - ١٨)

أ، ب - هدبة مضيئة



شكل (٣ - ١٨)

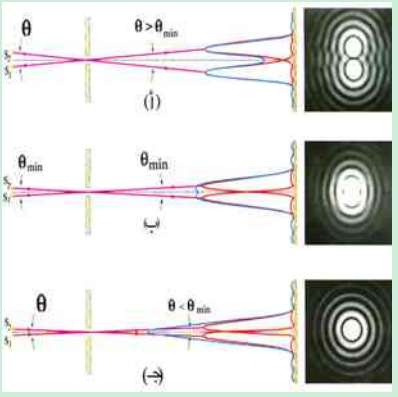
جـ ، د هدبة مظلمة

معلومة إثرائية

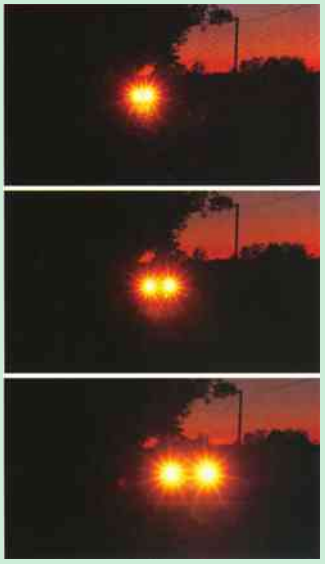
القدرة على التحليل

الحيود يضع قيودا على القدرة على التحليل Limit of Resolution

إذا كان لدينا مصدران ضوئيان على شكل نقطتين وانبعث ضوء من كل منهما من خلال فتحة دائرية Aperture، فإن كل مصدر يكون هدبة مستقلة. ولكن إذا تقاربت المسافة بين المصدرين، فإن الهدبتين تتقاربان ويصعب التفرقة بينهما. وقد وجد أن الزاوية بين مركزى الهدبتين تعطى تقريباً بالعلاقة $\Delta\theta = \frac{\lambda}{D}$، حيث D هى قطر الفتحة Aperture، أى أن القدرة علي التمييز بين جسمين صغيرين تتناسب عكسيا مع قطر الفتحة، وطرديا مع الطول الموجى. ولذلك ففى حالة الميكروسكوب فإن العدسة (تماثل الفتحة Aperture) والطول الموجى يحدان من قدرة الميكروسكوب على التمييز بين الجسيمات الصغيرة وبعضها البعض. وكلما صغرت λ ، نرى تفاصيل لم يكن متاحا رؤيتها من قبل، وهذه ميزة الميكروسكوب الإلكترونى كما سنرى (فصل ١٢).

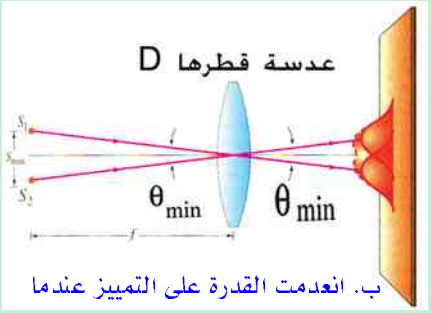


أ. كلما اقترب المصدران من بعضهما أصبحت القدرة على التمييز بينهما أصعب بسبب الحيود



جـ.مصدران ضوئيان يقتربان حتى أمكن التفريق بينهما

د.بكتيريا تظهر بالميكرسكوب الإلكترونى ولا تظهر بالميكروسكوب الضوئى



ب. انعدمت القدرة على التمييز عندما صغرت المسافة بين الجسمين وصغر حجمهما

شكل (٣ - ١٩)
القدرة على التحليل

الضوء حركة موجية :

يتضح لنا من الفقرات السابقة ان الضوء :

(١) ينتشر فى خطوط مستقيمة.

(٢) ينعكس وفقاً لقانونى الانعكاس.

(٣) ينكسر وفقا لقانونى الانكسار.

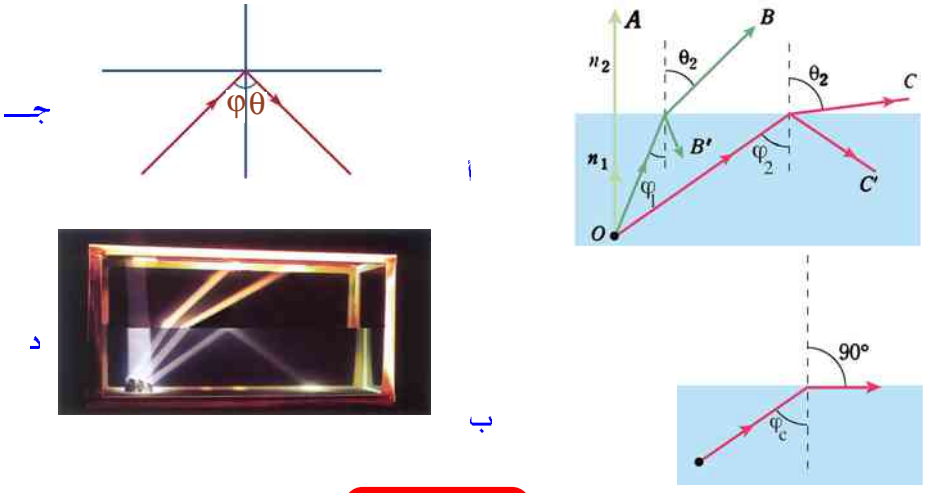
(٤) يتداخل الضوء وينشأ عن التداخل تقوية فى شدة الضوء فى بعض المواضع (هدب مضيئة) وانعدام فى شدة الضوء فى بعض المواضع الأخرى (هدب مظلمة).

(٥) يحيد الضوء عن مساره إذا اصطدم بعائق.

وهذه هى نفس الخصائص العامة للموجات وبالتالى يكون الضوء حركة موجية.

الإنعكاس الكلى والزاوية الحرجة :

عندما ينتقل شعاع ضوئى من وسط أكبر كثافة ضوئية كالماء (أو الزجاج) الى وسط أقل كثافة ضوئية كالهواء، فإن الشعاع المنكسر يبتعد عن العمود كما فى الشكل (٣-٢٠). ومع زيادة قيمة زاوية السقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية (معامل انكسار مطلق كبير) تزداد قيمة زاوية الإنكسار فى الوسط الأقل كثافة ضوئية (معامل انكسار مطلق صغير).



شكل (٣ - ٢٠)

سقوط ضوء من وسط أكبر كثافة ضوئية إلى وسط أقل كثافة ضوئية

وعندما تبلغ زاوية السقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية قيمة معينة ϕ_c عندها تبلغ زاوية الانكسار فى الوسط الأقل كثافة ضوئية أكبر قيمة لها وتساوى 90°، وعندها يخرج الشعاع المنكسر موازياً للسطح الفاصل. وتسمى زاوية السقوط فى هذه الحالة الزاوية الحرجة ϕ_c وهى زاوية سقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية تقابلها زاوية الانكسار فى الوسط الأقل كثافة ضوئية تساوى 90°

بتطبيق قانون سنل فى هذه الحالة :

$$n_1 \sin \phi_c = n_2 \sin 90^\circ$$

ومنها $$\boxed{\sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1} = {}_1n_2} \quad (3-6)$$

حيث n_1 معامل انكسار الوسط الأكبر كثافة ضوئية، n_2 معامل انكسار الوسط الأقل كثافة ضوئية، ϕ_c الزاوية الحرجة.

وعندما يكون الوسط الأقل كثافة ضوئية هو الهواء يكون $n_2 = 1$ ، وعندئذ نكتب العلاقة السابقة على الصورة :

$$n_1 \sin \phi_c = 1$$

$$\boxed{n_1 = \frac{1}{\sin \phi_c}} \quad (3-7)$$

حيث n_1 معامل الانكسار المطلق للوسط الأكبر كثافة .

وبذلك يمكن حساب معامل إنكسار الوسط بمعرفة الزاوية الحرجة له. وإذا زادت قيمة زاوية السقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية عن الزاوية الحرجة فإن الشعاع الضوئى لا ينفذ الى الوسط الثانى الأقل كثافة ضوئية، وإنما ينعكس إنعكاسا كلياً فى نفس الوسط ، على خلاف أى زاوية سقوط أخرى أقل من الزاوية الحرجة، حيث ينفذ جزء وينعكس جزء آخر كما فى الصورة الموضحة (شكل ٣- ٢٠ جـ ، د).

أمثلة :

١- إذا كان معاملا انكسار الزجاج والماء هما 1.6 و 1.33 على الترتيب، فاحسب الزاوية الحرجة لكل منهما.

الحل

فى حالة الزجاج $$n_1 = \frac{1}{\sin \phi_c}$$

$$\sin \phi_c = \frac{1}{n_1} = \frac{1}{1.6} = 0.625$$

ومنها : $\phi_c = 38^\circ\ 41'$

فى حالة الماء :

$$\sin\phi_c = \frac{1}{n_1} = \frac{1}{1.33} = 0.7518$$

ومنها $\phi_c = 48^\circ 45'$

٢- مستخدما البيانات المعطاه فى المثال السابق احسب الزاوية الحرجة للضوء الساقط من الزجاج الى الماء.

الحل :

باستخدام قانون سنل

$$n_2 \sin 90^\circ = n_1 \sin\phi_c$$

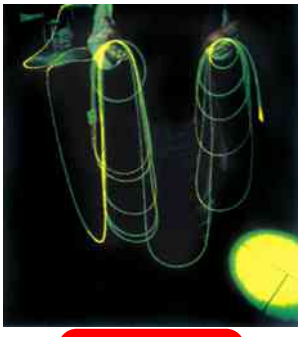
$$1.33 \times 1 = 1.6 \sin\phi_c$$

$$\sin\phi_c = \frac{1 \times 1.33}{1.6} = 0.8313$$

ومنها $\phi_c = 56^\circ 14'$

بعض تطبيقات الانعكاس الكلى :

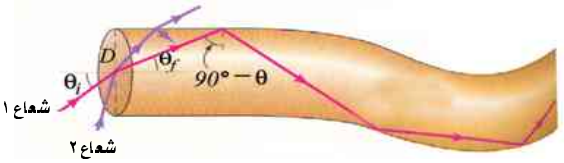
أولاً : الألياف الضوئية (البصرية) (Optical Fibers) Fiberoptics



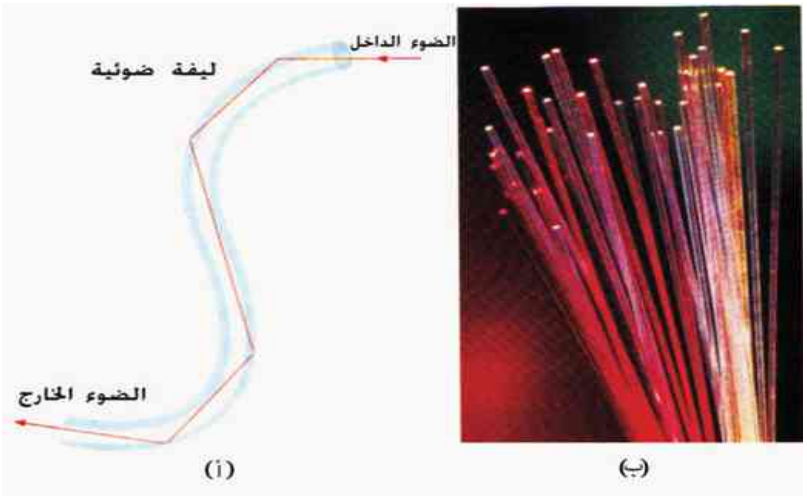
شكل (٣ - ٢١)
الألياف تحافظ على الشعاع رغم انثناء الألياف

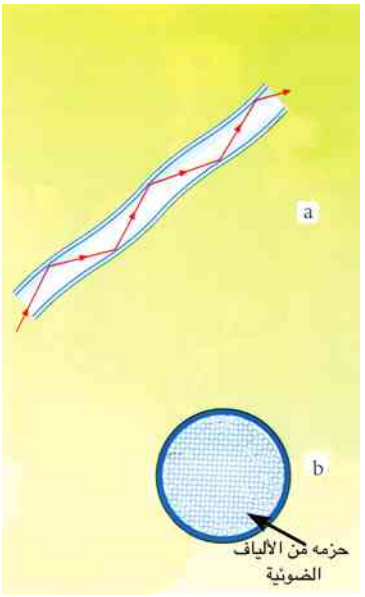
ويوضح الشكل (٣-٢١) ليفة ضوئية -وهى أنبوبة رفيعة من مادة شفافة- إذا دخل الضوء من أحد طرفيها فإنه يعانى إنعكاسات كلية متتالية (زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة) حتى يخرج من طرفها الآخر (شكل ٣-٢٢) .

ويوضح الشكل (٣-٢٣) حزمة مكونة من آلاف الألياف معا تتكون منها حزمة مرنة قابلة للانثناء ، بحيث تصل إلى أماكن يصعب الوصول إليها، ويمكن استخدامها فى نقل الضوء بدون فقد يذكر. وتلقى الألياف الضوئية الآن اهتماماً كبيراً. فالليفة الضوئية أو البصرية تستخدم الآن فى



شكل (٣ - ٢٢)
الياف ضوئية

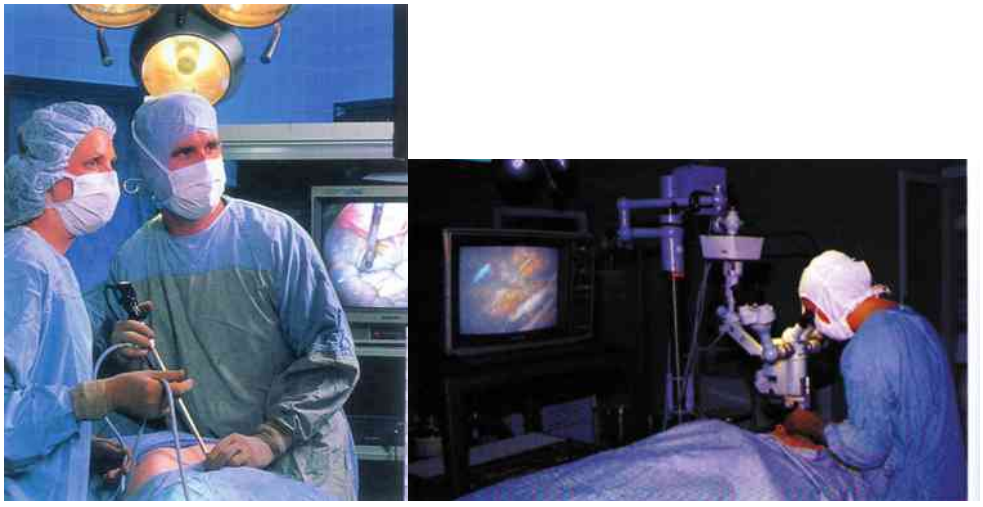




شكل (٣ - ٢٣)

ألياف ضوئية

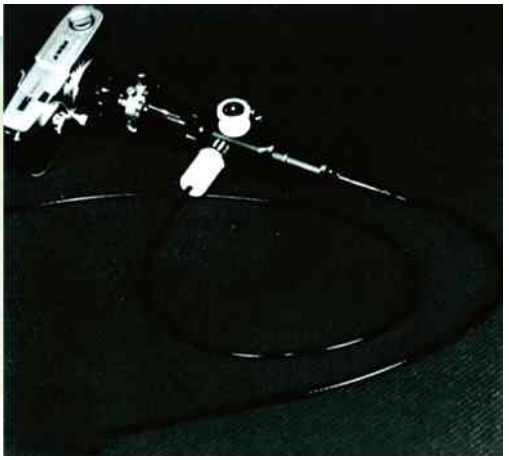
الفحوص الطبية مثل المناظير الطبيةEndoscopes (شكل ٣-٢٤)، والتي تستخدم فى التشخيص ، كما تستخدم فى إجراء العمليات الجراحية باستخدام شعاع الليزر الذى سندرسه فى الفصل الرابع عشر. كما يستخدم الليزر فى الاتصالات الكهربية عن طريق تحميل الضوء لملايين الإشارات الكهربية فى كابل من الألياف الضوئية (شكل ٣ - ٢٥).



شكل (٣ - ١٢٤)

إجراء عمليات جراحية باستخدام

المناظير الطبية



شكل (٣ - ٢٤ب)

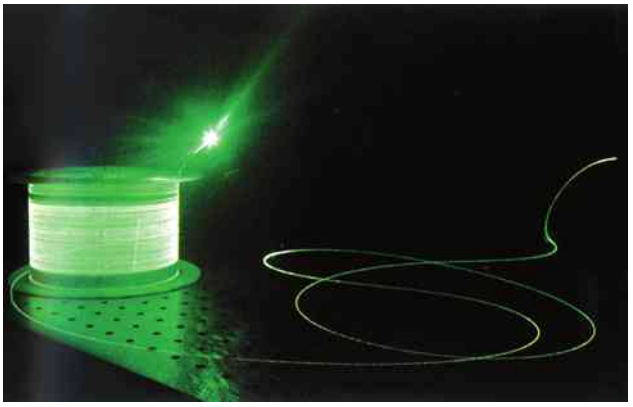
بعض أشكال المناظير الطبية

شكل (٣ - ٢٤جـ)

شكل مكبر لعدسة المنظار الطبى

شكل (٣ - ٢٤د)

صورة تجويف المرئ بالمنظار الطبى



شكل (٣ - ٢٥)

ألياف ضوئية تستخدم فى نقل الإشارات الكهربية

معلومة إثرائية

فراء الدب

فـراء الدب لا يوفـر له عـزلا حـراريا فـحـسب، ولكن شـعـيـرات الفـراء تمثل مـجـمـوعـة هائلة من الألياف الضوئية التي تعكس الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet . ولذا يظهـر هذا الفـراء أبيض اللون (شكل ٣-٢٦) ، لان الضـــوء المرئي ينعكس على الاسطح الداخلية لهذه الشعيرات المجوفة الشفافة. ويمتص الجلد نفسـه كل مـا يصل اليـه من أشـعـة ولذلك فهو أسود اللون .

شكل (٣ - ٢٦)
فراء الدب

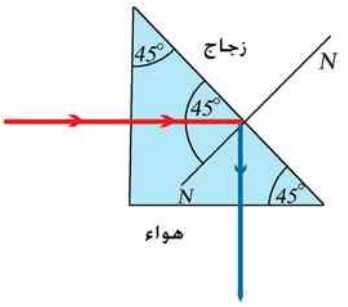
كيف تعمل الألياف الضوئية:

إذا كان لدينا أنبوبة مجوفة ، ونظرنا من أحد طرفيها لنرى جسماً مضيئا فى الطرف الآخر، فإنه يمكن رؤيته . أما إذا حدث انثناء للأنبوبة المجوفة ، فلا يمكن رؤية الجسم المضيء .

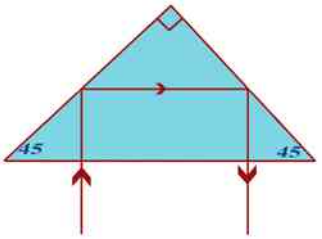
وفى هذه الحالة كيف يمكن رؤيته؟ إذا وضعنا مرايا عاكسة عند مواضع مسار الشعاع الضوئى ، فإننا نستطيع فى هذه الحالة رؤية الجسم المضيء . وبالمثل يمكن استخدام الألياف الضوئية عند سقوط شعاع ضوئى بزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة فإنه يحدث إنعكاسات كلية ليخرج الشعاع بكامل طاقته من الطرف الآخر رغم انثناء هذه الألياف.

ثانيا المنشور العاكس :

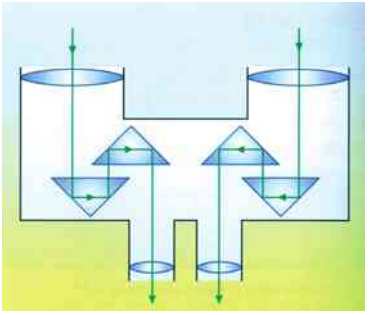
نظراً لأن الزاوية الحرجة بين زجاج معامل إنكساره المطلق (1.5) والهواء حوالى 42° فإن منشوراً ثلاثيا من الزجاج زواياه (90°, 45°, 45°) يستخدم فى تغيير مسار حزمة ضوئية بمقدار 90° أو 180°، ومثل هذا المنشور يستخدم فى بعض الآلات البصرية مثل البيرسكوب Periscope الذى يستخدم فى الغواصات البحرية وفي مناظير الميدان Binoculars (شكل ٣-٢٧).



أ. المنشور العاكس يغير مسار الضوء 90°



ب. المنشور العاكس يغير مسار الضوء 180°



جـ. استخدام المنشور فى منظار الميدان

شكل (٣ - ٢٧)
المنشور العاكس

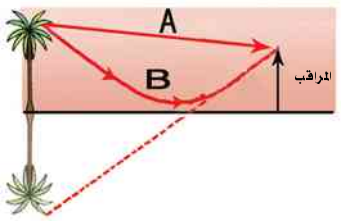
واستخدام المنشور لهذا الغرض أفضل من استخدام السطح المعدنى العاكس (أو المرآة) أولا : لأن الضوء ينعكس فى المنشور انعكاسا كلياً . ومن النادر أن يتواجد السطح المعدنى العاكس الذى تبلغ كفاءته 100%.

ثانياً : يتعرض السطح المعدنى لما يفقده بريقه أو لمعانه ، فتقل قابليته لعكس الضوء،ولا يحدث مثل هذا فى المنشور. صحيح أن جزءاً أو نسبة من الضوء تفقد عند دخوله أو خروجه من المنشور ، ولكن يمكن تجنبها بتغطية السطح الذى يدخل منه الضوء أو يخرج منه بغشاء رقيق غير عاكس (معامل انكساره أقل من معامل انكسار الزجاج) مثل الكريوليت (فلوريد الألومنيوم وفلوريد الماغنسيوم).

ثالثا السراب :

السراب ظاهرة مألوفة فى الأيام القائظة (شديدة الحرارة) ويمكن رؤيتها صيفاً فى الطرق حيث يبدو الطريق لراكب السيارة كما لو كان مغطى بالماء، (شكل ٣-٢٨أ) وكما يمكن ملاحظتها فى الصحارى حيث ترى للنخيل أو التلال صورا مقلوبة شبيهة بتلك الصور التى تحدث بالإنعكاس عن سطح الماء، وعندئذ يظن المراقب وجود الماء (شكل ٣-٢٨ب).

شكل (٣ - ٢٨أ)
الطرق الممهدة تبدو مبللة



شكل (٣ - ٢٨ب)
انعكاس السماء فى الصحراء يوحى بوجود ماء

وتفسر هذه الظاهرة كما يلى :

فى الأيام شديدة الحرارة ترتفع درجة حرارة الطبقات الهوائية الملاصقة لسطح الأرض فتقل كثافتها عن كثافة الطبقات التى تعلوها. ويترتب على ذلك أن تكون معاملات انكسار طبقات الهواء العليا أكبر من تلك التى تحتها. لذلك إذا تتبعنا شعاعاً ضوئياً صادراً من قمة نخلة مثلاً فإن هذا الشعاع عند انتقاله من الطبقة العليا الى الطبقة التى تقع تحتها ينكسر مبتعداً عن العمود. وعند إنتقاله من هذه الطبقة الى التى تليها يزداد إنحرافه. وهكذا يزداد إنحراف الشعاع أثناء إنتقاله خلال طبقات الهواء المتتالية، متخذاً مساراً منحنياً ، وعندما تصبح زاوية سقوطه فى إحدى الطبقات أكبر من الزاوية الحرجة بالنسبة للطبقة التى تحتها، فإن الشعاع الضوئى ينعكس إنعكاساً كلياً، متخذاً مساراً منحنياً الى أعلى حتى يصل الى العين التى ترى صورة قمة النخلة على إمتداد الشعاع الذى يصلها . وهذا يفسر رؤية صورتها مقلوبة (شكل ٣-٢٨) فيظن المراقب أن هناك ماء .

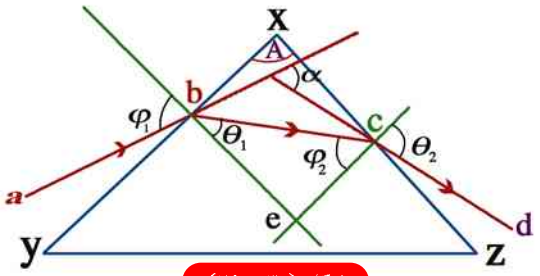
الإنحراف فى المنشور الثلاثى:

عندما يسقط شعاع ضوئى مثل الشعاع (ab) على الوجه (XY) لمنشور ثلاثى ، فإن هذا الشعاع ينكسر داخل المنشور متخذا المسار (bc) حتى يسقط على الوجه (XZ) فيخرج الى الوسط الأول فى الاتجاه (cd) كما فى الشكل (٣-٢٩).

ومن هذا الشكل نتبين أن الشعاع الضوئى فى المنشور الثلاثى ينكسر مرتين ، احداهما عند الوجه الأول (XY) والاخرى عند الوجه الثانى (XZ) . ونتيجة لذلك ينحرف الشعاع عن مساره بزاوية معينة هى زاوية الانحراف α

زاوية الانحراف Deviation Angle: هى الزاوية الحادة المحصورة بين امتدادى الشعاع الساقط والشعاع الخارج ويرمز لها هنا بالرمز α

وإذا كانت زاوية السقوط هى ϕ_1 وزاوية الانكسار عند الوجه الأول هى θ_1 وزاوية السقوط على الوجه الثانى هى ϕ_2 وزاوية الخروج هي θ_2 وزاوية رأس المنشور A ، فإننا نتبين من هندسة الشكل (٣-٢٩) ما يلى.



شكل (٣ - ٢٩)

مسار شعاع الضوء فى منشور ثلاثى

$$\alpha = (\phi_1 - \theta_1) + (\theta_2 - \phi_2)$$

$$\alpha = (\phi_1 + \theta_2) - (\theta_1 + \phi_2)$$

حيث أن مجموع زوايا الشكل الرباعى bxce هو 2π و الزاويتين b و c قائمتان فإن الزاوية e هى $(180^\circ - A^\circ)$ وفى المثلث bce مجموع الزوايا 180^0، و على ذلك فإن

$$\theta_1 + \phi_2 = 180^\circ - (180^\circ - A^\circ) = A^\circ \qquad (3 - 8)$$

وبالتعويض من المعادلة (3 -8) نجد أن :

$$\alpha = \phi_1 + \theta_2 - A^\circ \qquad (3 - 9)$$

ومن هذه العلاقة نتبين أن زاوية الانحراف فى منشور ثلاثى زاوية رأسه A° تتوقف على زاوية السقوط ϕ_1.

ويمكن عملياً بيان أن زاوية الانحراف تتناقص تدريجياً مع إزدياد زاوية السقوط حتى تصل زاوية الانحراف الى حد معين يعرف بالنهاية الصغرى للإنحراف، بعده تأخذ زاوية الإنحراف فى الازدياد تدريجيا مع ازدياد زاوية السقوط كما فى الشكل (٣ - ٣٠).

وفى وضع النهاية الصغرى للانحراف يمكن عملياً ونظرياً إثبات أن :

$$\phi_1 = \theta_2 = \phi_o$$

$$\theta_1 = \phi_2 = \theta_o$$

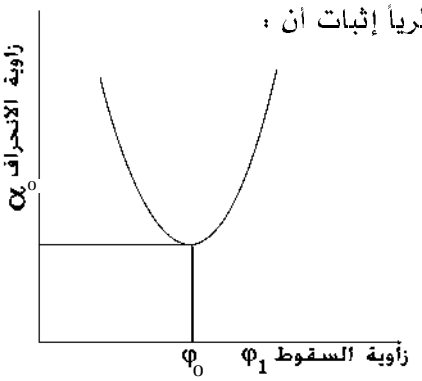
وتصبح العلاقتان (3 - 8) و (3 - 9) كما يلى :

$$A = 2\theta_o$$

ومنها $$\theta_o = \frac{A}{2}$$

ومنها $$\alpha_o = 2\phi_o - A$$

$$\phi_o = \frac{\alpha_o + A}{2}$$



شكل (٣ - ٣٠)

زاوية الإنحراف لها نهاية صغرى

ولكن

$$n = \frac{\sin \phi}{\sin \theta}$$

بالتعويض عن ϕ ، θ نجد أن معامل الانكسار للمنشور فى وضع النهاية الصغرى للانحراف يتعين من العلاقة :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)} \qquad (3 - 10)$$

تجربة عملية : تعيين مسار شعاع ضوئى خلال منشور زجاجى واستنتاج قوانين المنشور

الأدوات المطلوبة :

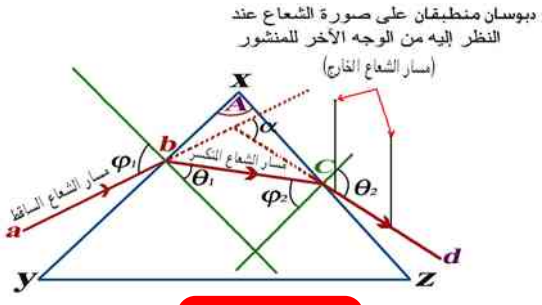
منشور من الزجاج زاوية رأسه 60° - دبابيس - منقلة - مسطرة.

خطوات العمل :

١- ضع المنشور على ورقة بيضاء وحدد قاعدته المثلثة - ثم ابعد المنشور وارسم خطًا (ab) مائلاً على أحد وجهى المنشور يمثل شعاعاً ساقطاً بزاوية سقوط معينة. ضع المنشور فى موضعه ، ثم انظر فى الجانب المقابل ، وحدد موضع الشعاع الخارج (cd) بالاستعانة بالدبابيس ، أو بوضع مسطرة والنظر بحيث تصبح حافة المسطرة على امتداد صورة الشعاع الساقط (ab) . ثم ارسم خطا (cd) فى محاذاة حافة المسطرة. تجد أن هذا الخط يقع على امتداد صورة الخط الأول.

٢- ارفع المنشور ثم صل (bc) فيكون مسار الشعاع الضوئى هو (abcd) من الهواء إلى الزجاج إلى الهواء ثانية.

٣- مد الشعاع الخارج (cd) على استقامته حتى يقابل امتداد الشعاع الساقط (ab) فتكون الزاوية المحصورة بينهما هى زاوية الانحراف α (شكل ٣-٣١).



شكل (٣ - ٣١)

مسار شعاع الضوء فى منشور ثلاثى

٤- قس كـلاً من زاوية السـقـوط ϕ_1 وزاوية الانكسـار θ_1 وزاوية السـقـوط الداخلية ϕ_2 وزاوية الخروج θ_2 وزاوية الانحراف α.

٥- كرر العمل السابق عدة مرات بتغيير زاوية السقوط وضع النتائج فى جدول .

زاوية رأس المنشور A	زاوية السقوط ϕ_1	زاوية الانكسار θ_1	زاوية السقوط الداخلية ϕ_2	زاوية الخروج θ_2	زاوية الانحراف α

استخدم المعادلتين (8 – 3) و(9 – 3) لحساب قيمتين A، α وطابق النتائج بالقيم المقاسة عملياً

تفريق الضوء Dispersion بواسطة المنشور الثلاثى :

استنتجنا فى الفقرة السابقة إنه فى وضع النهاية الصغرى للإنحراف يتعين معامل انكسار مادة المنشور من العلاقة :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

حيث n معامل الانكسار، α_o هى النهاية الصغرى للإنحراف، A زاوية رأس المنشور، ونظرا لأن زاوية رأس المنشور ثابتة فإننا نتبين أن تغير معامل الانكسار يتبعه تغير فى قيمة زاوية النهاية الصغرى للانحراف، فبزيادة معامل الانكسار تزداد قيمة النهاية الصغرى للإنحراف والعكس صحيح.

ونظراً لأن معامل الإنكسار n يتوقف على الطول الموجى، فإن زاوية النهاية الصغرى للإنحراف تتوقف بدورهاعلى الطول الموجى.

لذلك إذا سقطت حزمة ضوء أبيض على منشور ثلاثى مهيأ فى وضع النهاية الصغرى للإنحراف فإن الضوء الخارج من المنشور يتفرق الى ألوان الطيف المعروفة كما فى الشكل (٣ - ٣٢).

شكل (٣ - ٣٢)

المنشور يفرق الوان الطيف

ومن الشكل نتبين أن أشعة الضوء البنفسجى تكون أكثر الأشعة إنحرافاً (معامل إنكسارها أكبر) وأن

أشعة الضوء الأحمر تكون أقل الأشعة إنحرافاً (معامل إنكسارها أصغر). وألوان الطيف المرئى التى يتفرق إليها الضوء الأبيض هى بالترتيب (من جهة رأس المنشور الى قاعدته):-

الأحمر - البرتقالى - الأصفر - الأخضر - الأزرق- النيلى - البنفسجى.

المنشور الرقيق :

هو عبارة عن منشور ثلاثى من الزجاج مثلاً زاوية رأسه صغيرة لا تتجاوز عدة درجات ويكون دائماً فى وضع النهاية الصغرى للانحراف أى أن معامل إنكسار مادة المنشور يحسب من العلاقة :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

ونظراً لأن $\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)$ وكذلك $\left(\frac{A}{2}\right)$ هى زوايا صغيرة ، يكون جيب الزاوية مساويا لقيمة الزاوية بالتقدير الدائرى . وعلى ذلك يكون :

$$\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right) \cong \left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)$$

وكذلك

$$\sin\left(\frac{A}{2}\right) \cong \frac{A}{2}$$

وبالتعويض عنهما فى العلاقة السابقة نجد أن معامل انكسار مادة المنشور الرقيق يتعين من العلاقة الآتية :

$$n = \frac{\alpha_o + A}{A} \qquad (3\text{-}11)$$

$$\alpha_o = A\,(n - 1) \qquad (3 - 12)$$

قوة التفريق اللونى Dispersive Power

عند سقوط ضوء أبيض على منشور ثلاثى يتفرق هذا الضوء إلى ألوان الطيف المعروفة. ويرجع هذا الى إختلاف معاملات الإنكسار تبعاً لإختلاف أطوالها الموجية.

$$(\alpha_o)_r = A\,(n_r - 1)$$

$$(\alpha_o)_b = A\,(n_b - 1)$$

حيث A زاوية رأس المنشور الرقيق ، n_r معامل انكسار مادته للضوء الأحمر، n_b معامل انكسار مادته للضوء الأزرق.

بالطرح نجد أن :

$$(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r = A\,(n_b - n_r) \qquad (3 - 13)$$

يمثل الطرف الأيسر ما نسميه بالإنفراج الزاوى بين الشعاعين الأزرق والأحمر، وبالنسبة للضوء الأصفر (الذى يتوسط اللونين الأحمر والأزرق) تكون زاوية انحرافه فى المنشور الرقيق هى :

$$(\alpha_o)_y = A\,(n_y - 1) \qquad (3 - 14)$$

حيث n_y معامل انكسار مادة المنشور للضوء الأصفرفإذا كانت $(\alpha_o)_y$ متوسط $(\alpha_o)_r$ ، $(\alpha_o)_b$

فإن n_y متوسط n_r ، n_b

وبالقسمة نجد أن :

$$\omega_\alpha = \frac{(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r}{(\alpha_o)_y} = \frac{n_b - n_r}{n_y - 1} \qquad (3 - 15)$$

وتسمى ω_α قوة التفريق اللونى Dispersive Power ، وهى كما نرى لا تتوقف على زاوية رأس المنشور.

تلخيـــص

● قانونا انعكاس الضوء:

(١) زاوية السقوط = زاوية الانعكاس

(٢) الشعاع الضوئى الساقط والشعاع الضوئى المنعكس والعمود من نقطة السقوط على السطح العاكس تقع جميعها فى مستوى واحد عمودى على السطح العاكس.

● يغير الضوء من اتجاه انتشاره عند انتقاله من وسط الى وسط آخر بسبب اختلاف سرعة الضوء v_2 فى الوسط الثانى عن سرعته v_1 فى الوسط الأول. ويخضع الضوء فى انكساره لما يلى :

(١) نسبة جيب زاوية السقوط فى الوسط الأول إلى جيب زاوية الانكسار فى الوسط الثانى نسبة ثابتة لهذين الوسطين، (تسمى معامل الانكسار النسبى من الوسط الأول الى الوسط الثانى) ويرمز لها بالرمز $_1n_2$

$$_1n_2 = \frac{\sin \phi}{\sin \theta}$$

حيث ϕ زاوية السقوط فى الوسط الأول ، θ زاوية الانكسار فى الوسط الثانى.

(٢) الشعاع الضوئى الساقط والشعاع الضوئى المنكسر والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل تقع جميعها فى مستوى واحد عمودى على السطح الفاصل.

● معامل الانكسار من الوسط الأول الى الوسط الثانى هو نسبة سرعة الضوء v_1 فى الوسط الأول إلى سرعة الضوء، v_2 فى الوسط الثانى أى أن :

$$_1n_2 = \frac{v_1}{v_2}$$

وهذه صورة أخرى لمعامل الانكسار النسبى بين وسطين .

● معامل الانكسار المطلق لوسط هو :

$$n = \frac{c}{v}$$

أى هو نسبة سرعة الضوء فى الفراغ إلى سرعة الضوء فى الوسط.

● قانون سنل للضوء ينص على : حاصل ضرب معامل الإنكسار المطلق لوسط السقوط فى جيب زاوية السقوط يساوى معامل الإنكسار المطلق لوسط الإنكسار فى جيب زاوية الإنكسار.

$$n_1 \sin\phi = n_2 \sin\theta$$

- المسافة بين أى هدبتين متتاليتين من نفس النوع (مضيئتين أو مظلمتين) فى تجربة ينج تتعين من العلاقة :-

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d}$$

حيث λ طول موجة الضوء المستخدم، R المسافة بين الحائل المعد لاستقبال الهدب والحاجز ذى الشق المزدوج ، d المسافة بين الشقين.

- الضوء حركة موجية.
- الزاوية الحرجة : هى زاوية سقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية تقابلها زاوية انكسار فى الوسط الأقل كثافة ضوئية مقدارها 90°
- معامل الانكسار المطلق لوسط يساوى مقلوب جيب الزاوية الحرجة له عند انتقال الضوء من هذا الوسط إلى الهواء أو الفراغ.

$$n = \frac{1}{\sin \phi_c}$$

- الانعكاس الكلى : عندما تكون زاوية سقوط الضوء فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية أكبر من الزاوية الحرجة، فإن الضوء لا ينفذ إلى الوسط الأقل كثافة ضوئية وإنما ينعكس عند السطح الفاصل انعكاساً كلياً.
- السراب ظاهرة تنتج عن الانعكاس الكلى.
- زاوية رأس المنشور الثلاثى $A = \theta_1 + \phi_2$
- زاوية الانحراف α هى الزاوية الحادة المحصورة بين امتدادى الشعاعين الساقط والخارج وتتعين من العلاقة :

$$\alpha = (\phi_1 + \theta_2) - A$$

حيث ϕ_1 زاوية السقوط، θ_2 زاوية الخروج ، A زاوية رأس المنشور.

- فى وضع النهاية الصغرى للانحراف يكون :

$$\phi_1 = \theta_2 = \phi_0$$

$$\theta_1 = \phi_2 = \theta_0$$

يتعين معامل انكسار مادة المنشور من العلاقة :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

حيث n معامل الانكسار ، α_o زاوية الانحراف فى وضع النهاية الصغرى ، A زاوية رأس المنشور .

- يتعين الانحراف فى المنشور الرقيق من العلاقة :

$$\alpha_o = A\ (n - 1)$$

- الانفراج الزاوى فى المنشور الرقيق يحسب من ناتج الطرح

$$(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r$$

حيث $(\alpha_o)_b$ زاوية انحراف الأشعة الزرقاء ، $(\alpha_o)_r$ زاوية انحراف الأشعة الحمراء.

- قوة التفريق اللونى ω_α هى :

$$\omega_\alpha = \frac{(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r}{(\alpha_o)_y}$$

$$\omega_\alpha = \frac{n_b - n_r}{n_y - 1}$$

حيث n_b هى معامل أنكسار مادة المنشور للون الأزرق.

n_r معامل أنكسار مادة المنشور للون الأحمر.

n_y معامل أنكسار مادة المنشور للون الأصفر.

أسئلة وتمارين

أولا: أسئلة المقال

١- وضح لماذا يمكن القول بأن الضوء حركة موجية.

٢- اشرح تجربة توضح بها ظاهرة التداخل فى الضوء.

٣- فسر ظاهرة تكون السراب.

ثانيا: عرف كلاً من

معامل الانكسار النسبى بين وسطين - معامل الانكسار المطلق لوسط - الزاوية الحرجة - زاوية الانحراف.

ثالثا: اكمل العبارات التالية

(أ) تتعين المسافة بين هدبتين متتاليتين من نفس النوع من العلاقة .....

(ب) قانون سنل هو .....

(جـ) الإنفراج الزاوى فى منشور رقيق يتعين من العلاقة .....

(د) قوة تفريق مادة، ما هى .....

رابعا: ضع علامة (√) أمام الاختيار الصحيح

(١) عندما ينعكس الضوء تكون :

(أ) زاوية السقوط أقل من زاوية الانعكاس (ب) زاوية السقوط أكبر من زاوية الانعكاس.

(جـ) زاوية السقوط = زاوية الانعكاس (د) لا توجد اجابه صحيحة.

(٢) عندما ينكسر الضوء تكون النسبة $\frac{\sin\phi}{\sin\theta}$ (حيث ϕ زاوية السقوط، θ زاوية الانكسار).

(أ) نسبة ثابتة للوسطين (ب) غير ثابتة لهذين الوسطين.

(جـ) مقدار ثابت أكبر من الواحد الصحيح دائما

(د) مقدار ثابت أقل من الواحد الصحيح دائماً.

(٣) نسبة جيب زاوية السقوط فى الوسط الأول الى جيب زاوية الانكسار فى الوسط الثانى تسمى :

(أ) معامل الانكسار المطلق للوسط الأول.

(ب) معامل الانكسار المطلق للوسط الثانى.

(جـ) معامل الانكسار النسبى من الوسط الثانى الى الوسط الأول.

(د) معامل الانكسار النسبى من الوسط الأول الى الوسط الثانى.

(٤) معامل الانكسار $_1n_2$ يساوى:

(أ) $\frac{n_2}{n_1}$ (ب) $\frac{n_1}{n_2}$ (جـ) n_1n_2 (د) $\frac{\sin \phi_2}{\sin \theta_1}$

(٥) يتعين معامل إنكسار مادة منشور ثلاثى فى وضع النهاية الصغرى للانحراف من :

(أ) $n = \frac{\sin \alpha_o}{\sin A}$ (ب) $n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\alpha_o}{2}\right)}$

(جـ) $n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$ (د) $n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin A}$

(٦) يتعين الإنحراف فى المنشور الرقيق من العلاقة :

(أ) $\alpha_o = n (A - 1)$ (ب) $n = A (\alpha_o - 1)$ (جـ) $\alpha_o = A (n + 1) =$

(د) $\alpha_o = A (n - 1)$

(٧) شعاع ضوئى يسقط على سطح يفصل بين وسطين فإذا كانت زاوية السقوط 60° وزاوية الانكسار 30° فإن معامل الانكسار النسبى من الوسط الأول الى الوسط الثانى هو:

(أ) $\sqrt{3}$ (ب) $\frac{1}{2}$ (جـ) $\sqrt{2}$ (د) 2

(٨) شعاع ضوئى يسقط بزاوية 48.5° على أحد أوجه متوازى مستطيلات من الزجاج ومعامل انكسار مادته 1.5 فكانت زاوية انكساره هى :

(أ) 20° (ب) 30° (جـ) 35° (د) 40°

(٩) فى تجربة لتعيين النهاية الصغرى للانحراف فى المنشور الثلاثى وجد أن هذه الزاوية تساوى 48.2° فإذا كانت زاوية رأس المنشور 58.8° فإن معامل انكسار مادته هو :

(أ) 1.5 (ب) 1.63 (جـ) 1.82 (د) 1.85

(١٠) إذا كانت الزاوية الحرجة لوسط بالنسبة للهواء هو 45° فإن معامل انكسار هذا الوسط هو :

(أ) 1.64 (ب) 2 (جـ) 1.7 (د) $\sqrt{2}$

(١١) منشور رقيق من الزجاج زاوية رأسه 5° ومعامل انكسار مادته 1.6 تكون زاوية انحراف الضوء فيه هى :

(أ) 5° (ب) 6° (جـ) 8° (د) 3°

(١٢) منشور رقيق يحرف الأشعة الضوئية الساقطة عليه بمقدار 4° فإذا كانت زاوية رأسه 8° فإن معامل انكسار مادته هو :

(أ) 1.5 (ب) 1.4 (جـ) 1.33 (د) 1.6

الوحدة الثانية

الموائـــع

الفصـل الرابـع : خواص الموائع الساكنة

الفصل الخـامس : خواص الموائع المتحركة

خواص الموائع

الوحدة الثانية

الفصل الرابع : خواص الموائع الساكنة

مقدمة :

إن الموائع هى المواد التى تتميز بقدرتها على الإنسياب، وبالتالى تشتمل الموائع على المواد السائلة والغازية. فى حين أن الغازات تتميز عن السوائل فى قابليتها بسهولة للإنضغاط، بينما تقاوم السوائل أى ضغط عليها تقريباً، وعلى ذلك تتميز السوائل بالحركة الإنسيابية غير القابلة للانضغاط Incompressible. كما أن للسوائل حجم معين فى حين أن الغازات تشغل أى حيز توجد فيه.

الكثافة Density:

هى خاصية أساسية لأى مادة، ويرمز لها بالرمز ρ، وتعرف بكتلة وحدة الحجوم، ووحدتها فى النظام الدولى هى kg/m^3

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (4 - 1)$$

يعزى التغير فى الكثافة من عنصر لآخر لما يلى:

١- التغير فى الوزن الذرى.

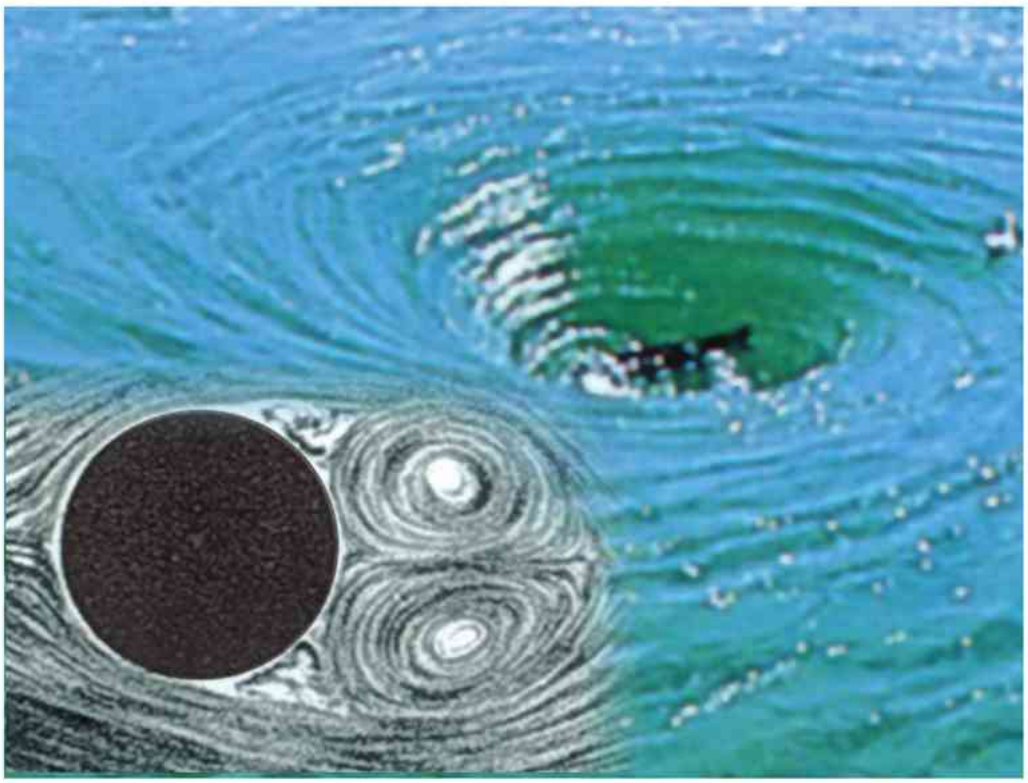
٢- الاختلاف فى المسافة البينية بين الذرات أو الجزيئات.

وقد سبق لنا معرفة أن الأجسام ذات الكثافة الصغيرة تطفو فوق السوائل ذات الكثافة الأكبر.

ويوضح الجدول التالى أمثلة لكثافة بعض المواد الشائعة:

خواص الموائع

الوحدة الثانية



الفصل الخامس : خواص الموائع المتحركة

الفصل الخامس
خـواص المـوائـع المتحـركـة

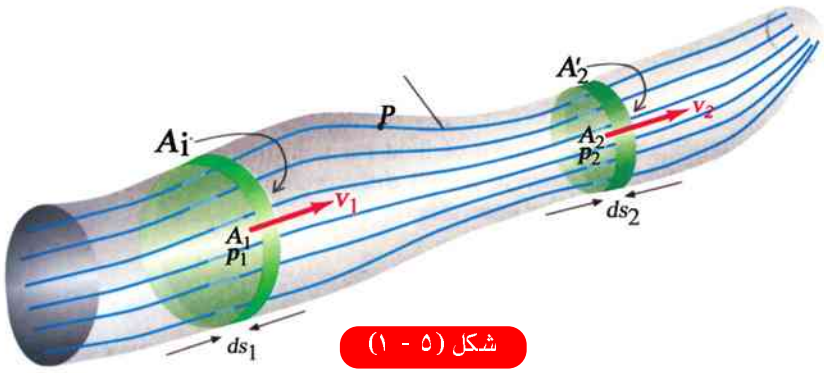
مقدمة :

نتحول الآن من دراسة الموائع الساكنة إلى دراسة الموائع المتحركة Hydrodynamics.

ينبغى أن نميز بين نوعين من سريان الموائع، السريان الهادى، والسريان المضطرب.

السريان الهادىء Steady Flow :

عندما يتحرك سائل ما بحيث تنزلق طبقاته المتجاورة فى نعومة ويسر يقال إن السائل يسرى سريانا طبقيا أو سريانا إنسيابيا. والسريان الطبقى Laminar Flow أو (الانسيابى) يسمى السريان الهادىء Streamline Flow أو المستقر Steady Flow، ويتميز هذا النوع من الانسياب بأن كل كمية صغيرة من السائل تتبع أو تتخذ مساراً متصلا يسمى خط الانسياب Streamline، وعلى هذا الاساس يمكننا تصور سريان السائل فى أنبوبة حقيقية أو افتراضية برسم مجموعة من خطوط الانسياب Streamlines، وذلك بتتبع مسارات أجزاء السائل المختلفة كما فى الشكل (٥-١). وأهم ما يميز خطوط الانسياب أنها لا تتقاطع، كما أن المماس لأى نقطة على خط الانسياب يحدد اتجاه السرعة اللحظية لكل كمية صغيرة من السائل عند تلك النقطة. ويحدد عدد خطوط الانسياب التى تمر عموديا بوحدة المساحات عند نقطة معينة (كثافة خطوط الانسياب) سرعة سريان السائل عند تلك النقطة. ولهذا تتزاحم خطوط الانسياب فى السرعات الكبيرة وتتباعد فى السرعات المنخفضة.



شكل (٥ - ١)

خطوط الانسياب Streamlines

شروط السريان الهادئ :

١- أن يكون معدل سريان السائل ثابتاً على طول مساره لأن السائل غير قابل للانضغاط وكثافة السائل لا تتغير مع المسافة أو الزمن.

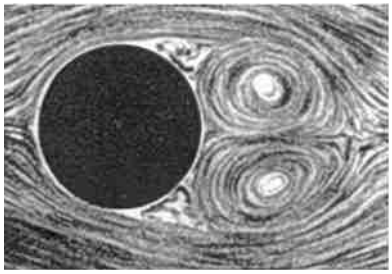
٢- فى السريان الهادئ Steady Flow لا تتوقف سرعة السائل عند كل نقطة على الزمن.

٣- السريان غير دوار Irrotational أى أنه لا توجد دوامات Vortex Flow.

٤- لا توجد قوى احتكاك بين طبقات السائل Nonviscous.

السريان المضطرب :

وإذا زادت سرعة إنسياب السائل عن حد معين يتحول السريان الهادئ إلى سريان مضطرب Turbulent Flow يتميز بوجود دوامات صغيرة دائرية Vortices (شكل ٥-٢). ويحدث نفس الشيء بالنسبة للغازات أيضا. كذلك فإنه نتيجة انتشار الغاز من حيز صغير إلى حيز كبير أو من ضغط عال إلى ضغط أقل فإنه يتحرك حركة دوامية (شكل ٥-٣).



شكل (٥ - ٢)
الدوامات نتيجة تدفق السائل بعنف أو حركة جسم فيه بسرعة

شكل (٥ - ٣)
يتحول الدخان من حركة إنسيابية إلى حركة مضطربة

معدل السريان ومعادلة الاستمرارية :

سنقتصر هنا على دراسة السريان الهادىء الذى يمكن وصفه كما يلى:

نتصور أنبوبة سريان Flow Tube بحيث:

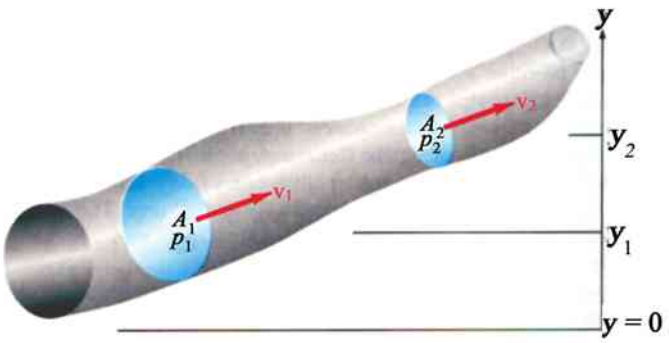
١- يملأ السائل الأنبوبة تماما.

٢- تكون كمية السائل التى تدخل إلى الأنبوبة عند أحد طرفيها مساوية لكمية السائل التى تخرج منها عند الطرف الآخر فى نفس الزمن، نظراً لأن السائل غير قابل للإنضغاط.

٣- لا تتغير سرعة سريان السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة مع الزمن. وتوجد علاقة تربط معدل سريان السائل بسرعته ومساحة مقطع الأنبوبة، وتسمى هذه العلاقة معادلة الاستمرارية Continuity Equation.

ولإدراك ما نعنيه بمعادلة الاستمرارية، نختار مستويين عموديين على خطوط الانسياب عند مقطعين كما فى شكل (٥-٤)، مساحة مقطع المستوى الأول A_1 ومساحة مقطع المستوى الثانى A_2، ويكون حجم السائل المنساب خلال المساحة A_1 فى وحدة الزمن (معدل الانسياب الحجمى) هو

$Q_v = A_1 v_1$ حيث v_1 سرعة السائل عند المقطع A_1. كما يكون كتلة السائل المنساب فى وحدة الزمن والذى كثافته ρ (أى معدل الانسياب الكتلى) هو هو $Q_m = \rho Q_v = \rho A_1 v_1$. وبالمثل يكون معدل الانسياب الكتلى خلال المساحة A_2 هو $\rho Q_v = \rho A_2 v_2$ ونظرا لأن معدل الانسياب الكتلى ثابت فى حالة السريان الهادىء فإن:



شكل (٥ - ٤)

نموذج لاستنتاج معادلة الاستمرارية

$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 \quad (5\text{-}1)$$

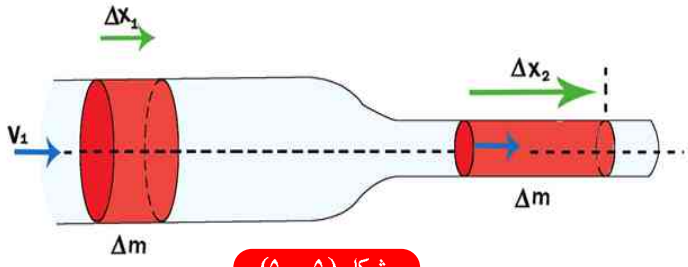
$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

وهذه هى معادلة الاستمرارية، أى أن

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} \quad (5\text{-}2)$$

ومن هذه العلاقة نتبين أن سرعة السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة تتناسب عكسيا مع مساحة مقطع الأنبوبة عند تلك النقطة، فالسائل ينساب ببطء شديد فى الأنبوبة عندما تكون مساحة مقطعها كبيرة A_1، وينساب بسرعة أكبر عندما تكون مساحة مقطعها صغيرة A_2 (شكل ٥-٥).

ولفهم معادلة الاستمرارية أكثر نتصور سائلاً ونعتبر كتلة صغيرة منه Δm، هذه الكتلة هى $\Delta m = \rho \Delta V_{ol}$ حيث $\Delta V_{ol} = A_1 \Delta x_1$ بينما Δx_1 هى المسافة التى يتحركها السائل فى زمن Δt أى $\Delta x_1 = v_1 \Delta t$، وبذلك يكون $\Delta V_{ol} = A_1 v_1 \Delta t$، نفس هذا الحجم لابد أن ينتقل فى الجانب الآخر من الأنبوبة لأن السائل غير قابل للانضغاط أى أن $\Delta V_{ol} = A_2 v_2 \Delta t$ ، ومن ثم ينبغى التأكيد هنا على أن معدل الانسياب للسائل هو معدل إنسياب حجمى Q_v ووحدته (m^3/s) أو معدل انسياب كتلى Q_m ووحدته (kg/s) وكلاهما مقدار ثابت لأى مساحة مقطع. وهذا يسمى قانون بقاء الكتلة Conservation of Mass والذى يؤدى إلى معادلة الاستمرارية.



شكل (٥ - ٥)

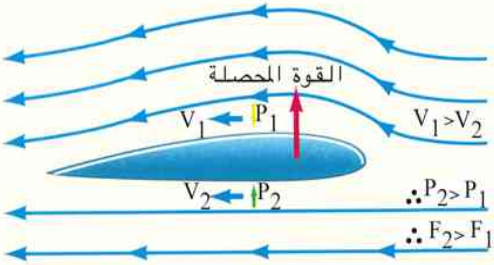
أساس معادلة الاستمرارية

معلومة إثرائية

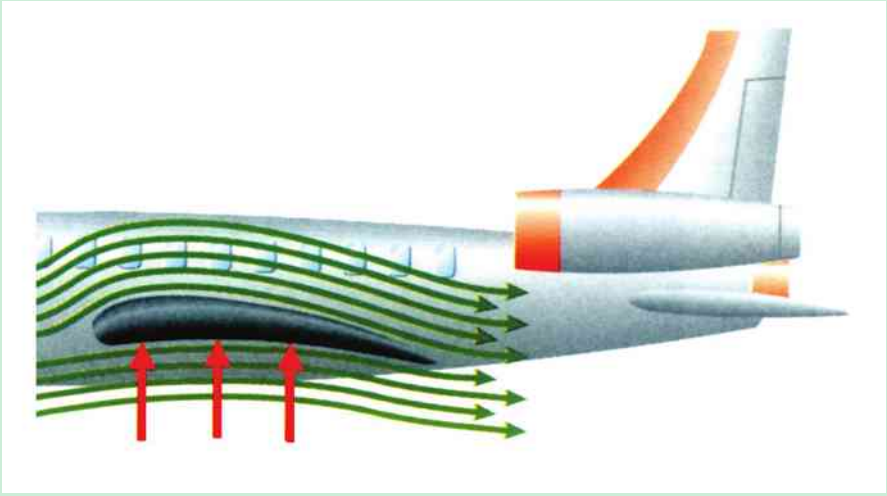
لماذا تطير الطائرة ولا تسقط؟

حـركـة الطائرة تؤدى إلى تكون منطقـة فـوق الجناحين يكون فـيـهـا الضـغط أقل مما هو تحت الجناحين، فـتنشـأ قـوة دفع لأعلي تتـزن مع وزن الطائرة (شكل ٥-٧). وهذه الظاهرة تسمى ظاهرة برنولى Bernoulli's Effect.

أ) الطائرة تطير ولا تسقط



ب) توجد منطقة خلخلة فى الضغط فوق الجناح



ج) القوة الناتجة عن فرق الضغط تدفع الطائرة لأعلى

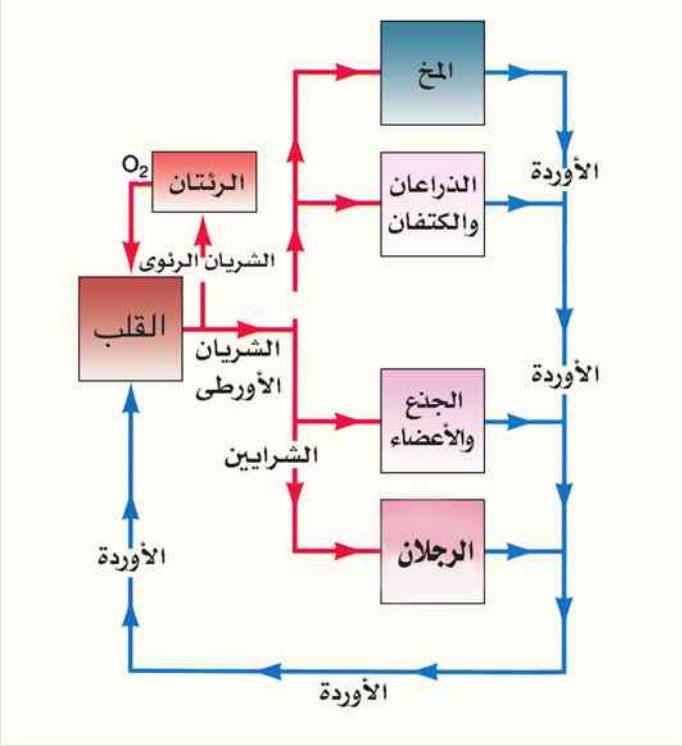
(شكل ٥-٧)

كيف تطير الطائرة

معلومة إثرائية

توزيع الدم فى جسم الإنسان

يتكون النظام الدورى Circulatory System من شبكة هائلة من الأوعية الدموية المختلفة، مثل الشرايين والأوردة إلى الشعيرات الدقيقة (شكل ٥-٨). ويضخ القلب الدم فى هذه الشبكة، فهو يضخ 5 لتر فى الدقيقة أو $8.33x10^{-5}m^3/s$ بمعدل 70 نبضة فى الدقيقة فى الوضع المعتاد، وقد يصل معدل الضخ إلى 25 لتر فى الدقيقة (أومعدل 180 نبضة فى الدقيقة) مع النشاط الزائد. وبحساب سرعة تدفق الدم فى الأورطى Aorta والذى يبلغ قطره 2cm فإننا نجد سرعة الدم 26.5 cm/s (احسب بنفسك). وإذا جمعنا كل الشعيرات Capillaries فإن مساحة مقطعها مجتمعة يساوى $0.25\ m^2$ (فماذا تكون السرعة؟).



(شكل ٥-٨)
تبسيط الدورة الدموية

معلومة إثرائية

مرض تصلب الشرايين

يتحكم الجسم فى سريان الدم فى الشرايين بواسطة عضلات تحيط بهذه الشرايين. عندما تنقبض Contract العضلات فإن قطر الشرايين يقل. ومن معادلة الاستمرارية (1-5)، فإن سرعة الدم لابد أن تزيد في الشريان نتيجة ذلك. والعكس عندما تنبسط Relax العضلات، فإن سرعة الدم تقل. مع تقدم العمر تفقد عضلة الشريان هذه المرونة وهذا ما يسمي تصلب الشرايين Hardening of the Arteries، ويقل بالتالى التحكم في سريان الدم. ومع ازدياد ترسب الدهون على جدران الأوعية الدموية يقل قطر هذه الأوعية مما يزيد من احتمالية تجلط الدم وتكوين جلطة تسد مجرى الدم، وقد يؤدى إلى الذبحة الصدرية Angina. وعادة يأخذ المريض أدوية لإسالة الدم لمنعه من التجلط، إلا إنه إذا زادت جرعة هذه الأدوية فقد تؤدى إلى نزيف. وتوجد ضمن مكونات الدم الصفائح Platelettes والتى تساعد على التجلط. وهكذا تلعب لزوجة الدم وما به من مكونات دوراً هاماً فى حياة الإنسان .

معلومة إثرائية

قياس ضغط الدم

يعتبر قياس ضغط الدم من الوسائل التى تقيس سلامة عمل القلب. وجهاز قياس ضغط الدم Sphygmomanometer هو نوع من أنواع المانومتر (شكل ٥-٩)، يتكون من رباط Cuff على شكل كيس هواء Air Bag يلف حول ذراع المريض. تستخدم طلمبة يدوية Hand Pump لنفخ الكيس. ويقاس الضغط في الكيس باستخدام مانومتر زئبقى. يزاد الضغط في الكيس الهوائي حتي يتوقف سريان الدم لحظيا في الشريان العضدى Brachial Artery. وتستخدم سماعة الطبيب Stethoscope للاستدلال على قوة عضلة الشريان فى دفع الدم. بخفض ضغط الكيس تدريجيا وعندما يقل الضغط في الكيس إلى درجة كافية يكون الضغط الذي يمارسه القلب كافيا ليدفع الدم ويفتح الشريان العضدى فيندفع الدم فيه. اندفاع الدم فى الشريان المنغلق وقت

(شكل ٥-٩)
قياس ضغط الدم

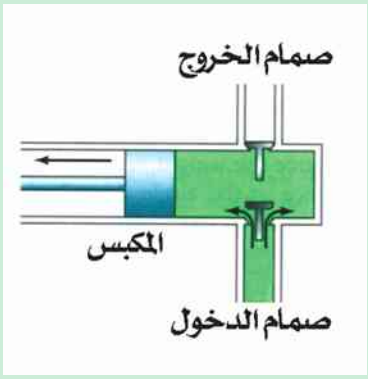
انفتاحه تدريجياً يحدث سريانا مضطربا Turbulent Flow مما يسبب صوتا يستطيع الطبيب أن يسمعه بالسماعة، وهو يراقب فى نفس الوقت قراءة الضغط على المانومتر معبرا عنها بدلالة الضغط mmHg. وهذا الضغط يسمي الضغط الانقباضى Systolic Pressure، وهو فى الإنسان السليم 120mmHg ، وبينما يقل الضغط فى الكيس الهوائى يظل الصوت مسموعا فى السماعة إلى أن يتساوى أقل ضغط للقلب (الضغط الانبساطى Diastolic Pressure) مع الضغط فى الكيس الهوائى. عندئذ فإن الشريان العضدى يكون قد فتح بالكامل، وينساب الدم فى سريان هادىء، ويختفى الصوت. يقرأ الضغط حينئذ علي المانومتر، وهو الضغط الذى يكون فيه القلب في وضع استرخاء (Relaxation) Rest. وقيمة هذا الضغط حوالى 80mmHg، وإذا كان الضغط الانقباضى أكبر من 150mmHg فإن المريض يعانى ضغطا مرتفعا Hypertension. وقد يسبب ذلك حدوث قطع فى شرايين المخ مما يؤدى إلى السكتة الدماغية Stroke.

أما إذا زاد الضغط الانبساطى عن 90mmHg فإن ذلك علامة أيضاً على ضغط الدم المرتفع. وهذا النوع من الضغط يسبب تلفا فى القلب ذاته لأنه يمثل عبئا على القلب فى الوقت الذى يكون فيه القلب -مفترضاً- فى حالة استرخاء.

معلومة إثرائية

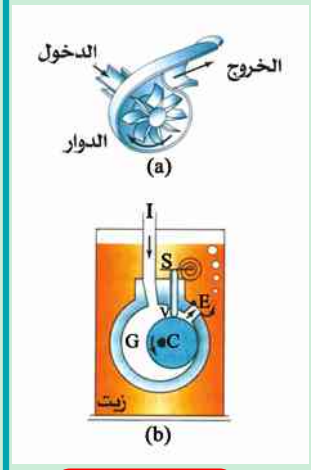
المضخات Pumps

يمكن تقسيم المضخات حسب وظيفتها. مضخة تفريغ الهواء Vacuum Pump تقلل ضغط الهواء في إناء ما معزول بحلقة مطاطية O-ring أو Oil Seal. المضخة الدافعة Force Pump تزيد الضغط لترفع سائلاً مثل الماء من البئر، أو لدفع سائل في أنبوبة ما. وفي المضخة الترددية Reciprocating Pump يتحرك المكبس Piston إلي اليسار (شكل ٥-١٠)، فيفتح صمام الدخول In take valve ، فيملأ الهواء أو السائل الفراغ خلف المكبس، وعندما يملأ هذا الفراغ، يدفع المكبس الهواء أو السائل للخروج من الصمام Outlet Valve، فيندفع الهواء أو السائل إلى الخارج. ويعتبر القلب مثالا على ذلك (شكل ٥-١١). كما يوجد نوع من المضخات يسمى المضخات الدوارة Circulating Pump (شكل ٥-١٢)، وهى تدفع الهواء أو السائل فى دائرة، مثل دائرة تبريد الماء أو الزيت فى السيارة، وتسمى أيضا مضخة طاردة Centrifugal Pump، حيث تدور الريش Blades، فتطرد السائل أو الهواء إلى الخارج ومثال ذلك المكنسة الكهربية Vacuum Cleaner.



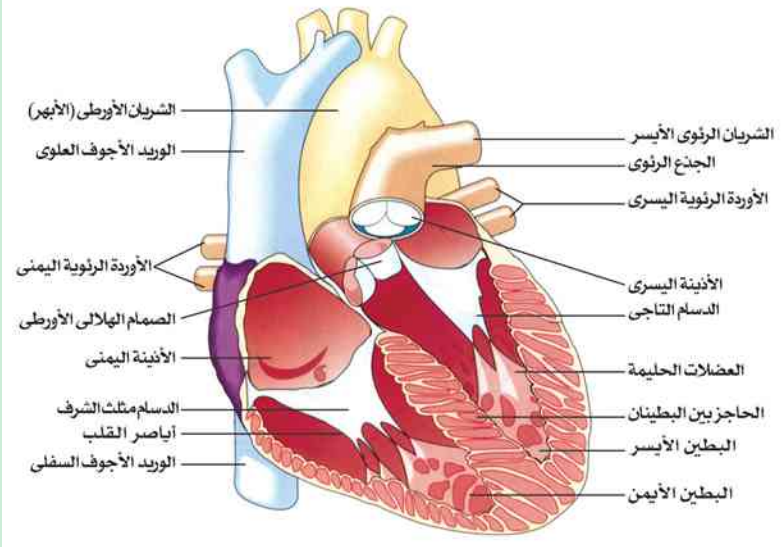
شكل (٥ - ١٠)

المضخة الترددية



شكل (٥ - ١٢)

مضخة دوارة



شكل (٥ - ١١)

القلب مضخة

أمثلة :

١- تدخل أنبوبة مياه قطرها 2 cm منزلا وسرعة سريان الماء بها 0.1 m/s ، ثم يصبح قطرها 1 cm احسب :

(أ) سرعة الماء فى الجزء الضيق.

(ب) كمية الماء (حجمه وكتلته) التى تنساب كل دقيقة خلال أى مقطع من مقاطع الأنبوبة (إذا كانت كثافة الماء = $1000\ kg/m^3$)

الحل :

(أ) نعلم أن $A_1 v_1 = A_2 v_2$

$$\pi (0.01m)^2 (0.1\ m/s) = \pi (0.005m)^2 v_2$$

$$v_2 = \frac{\pi \times 10^{-4} \times 0.1}{\pi \times 2.5 \times 10^{-5}} = 0.4 m/s$$

(ب) معدل الحجم المنساب يتعين من العلاقة :

$$Q_V = A_1 v_1 \text{ أو } A_2 v_2$$

$$= \pi \times 10^{-4} \times 0.1 \text{ أو } \pi \times 2.5 \times 10^{-5} \times 0.4$$

$$= 3.14 \times 10^{-5} m^3/s$$

وبذلك يكون الحجم المنساب فى دقيقة هو :

$$\acute{V}_{ol} = Q_v \times 60 = 3.14 \times 10^{-5} \times 60 = 188.4 \times 10^{-5}\ m^3/min$$

معدل الكتلة المنسابة (كثافة الماء = $1000\ kg/m^3$)

$$\rho Q_V = \rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2$$

$$= 3.14 \times 10^{-5} \times 10^3 = 3.14 \times 10^{-2}\ kg/s$$

الكتلة المنسابة فى دقيقة :

$$\acute{M} = 3.14 \times 10^{-5} \times 10^3 \times 60 = 1.884\ kg/min$$

٢- تكون السرعة المتوسطة لتدفق الدم فى الأورطى لشخص بالغ نصف قطره = 0.7 cm هى 0.33 m/s، ومن الأورطى يتوزع الدم على عدد من الشرايين الرئيسية (نصف قطر كل منها 0.35 cm) فإذا كان عدد الشرايين الرئيسية 30 فاحسب سرعة الدم فيها.

الحل :

مساحة مقطع الأورطى $A_1 = \pi r_1^2 = \pi (0.007)^2 \ m^2$

مساحة مقطع الشرايين الرئيسية الثلاثين $A_2 = \pi r_2^2 \times 30$

$= \pi (0.0035)^2 \times 30 \ m^2$

$A_1 v_1 = A_2 v_2$

$\pi (0.007)^2 \ (0.33) = \pi \ (0.0035)^2 \ (30) \ v_2$

$$v_2 = \frac{4 \times 0.33}{30} = 0.044 \ m/s$$

أى أن سرعة الدم فى الشرايين الرئيسية تساوى 0.044 m/s ، وبالتالى تكون سرعة الدم فى الشعيرات الدموية صغيرة جدا. الأمر الذى يتيح حدوث عمليات تبادل غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فى الأنسجة، فضلا عن تزويدها بالمواد الغذائية. وهنا تتجلى قدرة الله الخالق. "سبحانه وتعالى عما يشركون" صدق الله العظيم.

اللزوجة Viscosity

يمكن إدراك معنى اللزوجة مما يلى :

١- نعلق قمعين متماثلين كلا فى حامل، ثم نضع أسفل كل منهما كأسا فارغة. نصب فى أحد القمعين حجما معينا من الكحول ونصب فى الآخر حجما مماثلا من الجليسرين ونلاحظ سرعة انسياب كل من السائلين.

نجد أن سرعة إنسياب الكحول أكبر من سرعة إنسياب الجليسرين، أو بعبارة أخرى، تكون قابلية الكحول للإنسياب أكبر من قابلية الجليسرين لذلك.

٢- نأخذ كأسين متماثلتين يحتوى إحداهما على حجم معين من الماء وتحتوى الأخرى على حجم مساو من العسل. نقلب السائل فى كل من الكأسين بساق من الزجاج. ونلاحظ فى أى السائلين تكون حركة الساق أسهل. ثم نخرج الساق من السائل ونلاحظ حركة كل من السائلين بعد إخراج الساق نجد أن :

أ- الساق تتحرك فى الماء بسهولة أكبر مما يدل على أن مقاومة الماء لحركة ساق الزجاج أقل من مقاومة العسل لها.

ب- حركة العسل تتوقف بعد إخراج الساق بفترة وجيزة فى حين تستمر حركة الماء فترة أكبر.

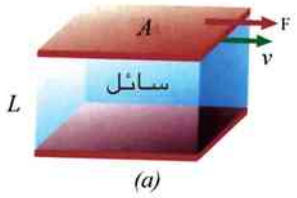
٣- نأخذ مخبارين متماثلين طويلين، ونملأ المخبار الأول حتى قرب فوهته بالماء، والثانى حتى قرب فوهته بالجليسرين، ثم نأخذ كرتين معدنيتين متماثلتين (من الصلب مثلا) ونلقى إحداهما برفق فى الماء، ونعين بواسطة ساعة إيقاف الزمن الذى تستغرقه الكرة لتصل إلى قاع المخبار. ونلقى الأخرى برفق فى الجليسرين، ونعين الزمن الذى تستغرقه لتصل إلى قاع المخبار.

نجد أن الزمن الذى تستغرقه الكرة لتصل الى قاع المخبار خلال الماء أقل من الزمن الذى تستغرقه كرة مماثلة لتصل الى قاع المخبار خلال الجليسرين، مما يدل على أن الجليسرين يقاوم حركة الكرة بمقدار أكبر من مقاومة الماء لها.

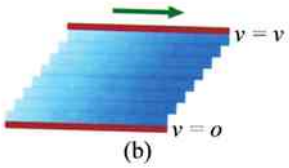
ومما سبق يمكن استخلاص ما يلى :

١- بعض السوائل كالماء، والكحول تكون قابليتها للإنسياب أو الحركة كبيرة فى حين أن مقاومتها لحركة الجسم فيها صغيرة وهى ذات لزوجة صغيرة.

٢- بعض السوائل كالعسل والجليسرين تكون قابليتها للإنسياب أو الحركة صغيرة فى حين أن مقاومتها لحركة الأجسام فيها كبيرة وهى ذات لزوجة عالية.



ا) قوة تؤثر على الطبقة العليا للسائل



ب) طبقات السائل تنزلق بالنسبة لبعضها

شكل (٥ - ٦)

الاحتكاك بين طبقات السائل

ولتفسير خاصية اللزوجة نتصور قطرة من السائل محصورة بين لوحين مستويين أحدهما ساكن أما الآخر فيتحرك بسرعة v (شكل ٥ - ٦). طبقة السائل الملامس للوح الساكن يكون ساكنا بينما يتحرك طبقة السائل الملامس للوح المتحرك بنفس سرعته وهى v، وتتحرك طبقات السائل بين اللوحين بسرعات تتراوح من الصفر إلى v

تتزايد من اللوح الساكن إلى اللوح المتحرك، حيث تكون سرعة كل طبقة أقل من سرعة الطبقة التى تعلوها، ويرجع هذا الإختلاف النسبى فى السرعة إلى ما يلى :

(أ) توجد قوى إحتكاك بين السطح المستوى للوح السفلى وطبقة السائل الملاصقة له. وتعزى هذه القوى الى التلاصق بين جزيئات سطح المستوى الصلب وجزيئات السائل المجاور لها مباشرة، فتمسك بها وتعوق إنسيابها، فتبدو هذه الطبقة ساكنة عديمة الحركة، ولنفس السبب تتحرك الطبقة العليا للسائل بنفس سرعة اللوح العلوى.

(ب) توجد قوى شبيهة بقوى الإحتكاك بين كل طبقة من طبقات السائل والطبقة التى تعلوها، فتعوق انزلاق بعضها فوق بعض، مما ينشأ عنه فرق نسبى فى السرعة بين كل طبقة والتى تعلوها، ويسمى هذا النوع من السريان السريان الطبقى Laminar Flow أو السريان اللزج Viscous Flow. واللزوجة هى تلك الخاصية التى تتسبب فى وجود مقاومة أو إحتكاك بين طبقات السائل بحيث تعوق انزلاق بعضها فوق بعض.

معامل اللزوجة

بالرجوع إلى الشكل (٥ - ٦) نجد أنه لكى يحتفظ اللوح المتحرك بسرعة ثابتة، فلابد من وجود قوة F. هذه القوة تتناسب طرديا مع كل من السرعة v ومساحة اللوح المتحرك A وتتناسب عكسيا مع المسافة الفاصلة بين اللوحين d

$$F \propto \frac{A v}{d}$$

وبالتالى يكون

$$F = \eta_{vs} \frac{Av}{d} \qquad (5 - 3)$$

حيث η_{vs} (إيتا) ثابت التناسب ويعرف بمعامل اللزوجة.

$$\eta_{vs} = \frac{Fd}{Av} = \frac{F}{Av/d} \qquad (5 - 4)$$

ويمكن من هذه العلاقة تعريف معامل اللزوجة كما يلى :

معامل اللزوجة لسائل : هو القوة المماسية المؤثرة على وحدة المساحات، ينتج عنها فرق فى السرعة مقداره وحدة السرعة بين طبقتين من السائل المسافة العمودية بينهما وحدة المسافة.

ووحدته kg/ms أو $N\ s/m^2$

تطبيقات لخاصية اللزوجة :

للزوجة تطبيقات كثيرة منها :

أ- التزييت والتشحيم :

ينبغى تشحيم أو تزييت الآلات المعدنية من وقت لآخر حيث تؤدى عملية التشحيم إلى :

١- نقص كمية الحرارة المتولدة اثناء الإحتكاك.

٢- حماية أجزاء الآلة من التآكل.

وتتم عملية التزييت بإستخدام أنواع من الزيوت تتميز بلزوجتها الكبيرة، إذ أننا لو استخدمنا الماء فى عملية التزييت وهو من المواد ذات اللزوجة الصغيرة فإنه سرعان ما ينساب بعيدا عن أجزاء الآلة لضعف قوة التصاقه بها أثناء حركتها. لذلك كان من الطبيعى أن نستخدم سوائل تتميز بقدرتها على الإلتصاق بأجزاء الآلة وعدم انسيابها بسرعة رغم الحركة الدائبة لتلك الأجزاء، ومن هنا كانت ضرورة استخدام مواد ذات لزوجة كبيرة فى عملية التزييت.

(ب) المركبات المتحركة :

عندما تبلغ السيارة سرعتها القصوى فإن الشغل الكلى الذى تبذله الآلة والمستمد من الوقود المستهلك يعمل معظمه ضد مقاومة الهواء للسيارة أثناء حركتها خلاله وأيضا ضد قوة الإحتكاك بين اطارات السيارة و الأرض. وفى السرعات الصغيرة نسبيا أو المتوسطة فإن مقاومة الهواء للأجسام المتحركة فيه والناتجة عن لزوجة الهواء تتناسب طرديا مع سرعة الأجسام المتحركة خلاله، وعندما تزداد سرعة السيارة عن حد معين فإن مقاومة الهواء لا تتناسب مع سرعتها فقط وإنما مع مربع السرعة. ويعنى هذا أن استهلاك الوقود يزداد معدله مع زيادة السرعة عن هذا الحد المذكور، ولذلك يلجأ قائد السيارة الخبير إلى الحد من سرعتها لتوفير استهلاك الوقود.

(حـ) فى الطب :

لقياس سرعة ترسيب الدم

من المعلوم أنه عند سقوط كرة سقوط حر رأسيًا فى سائل فإنها تتأثر بثلاث قوى وهى وزنها لأسفل وقوة دفع السائل لها لأعلى وقوة الإحتكاك بينها وبين السائل لأعلى نتيجه لزوجة السائل. وبحساب محصلة القوى وجد أنها تتحرك بسرعة نهائية تزداد بزيادة نصف قطرها.

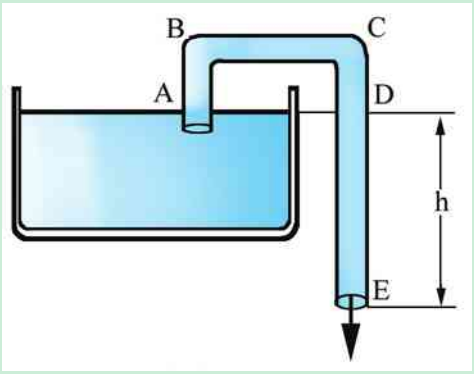
ويمكن استخدام ذلك فى الطب بأخذ عينة من الدم وقياس سرعة ترسيبها. وبذلك يمكن للطبيب معرفة إذا كان حجم كرات الدم طبيعيا أم لا. فعلى سبيل المثال، فى حالة الإصابة بالحمى الروماتزمية فإنه يحدث زيادة فى سرعة ترسيب الدم. وذلك نتيجة لالتصاق كرات الدم

الحمراء، فيزداد حجمها ونصف قطرها، وبالتالى سرعة الترسيب. أما فى حالة الإصابة بالأنيميا فتقل سرعة الترسيب عن المعدل الطبيعى حيث إنه يحدث تكسير لكرات الدم الحمراء فيقل حجمها ونصف قطرها.

معلومة إثرائية

ظاهرة السايفون Syphon

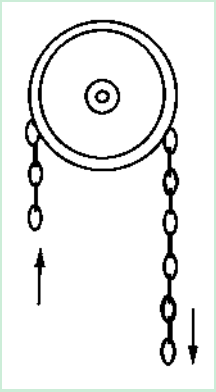
هل يمكن أن يصعد سائل لأعلى ؟



شكل (٥ - ١٣)
ظاهرة السايفون

عن طريق شفط الهواء من خرطوم طرفه الآخر مغمور فى سائل يرتفع السائل مسافة رأسية ثم يتدفق إلي أسفل (شكل ٥ -١٣). ونلاحظ هذه الظاهرة حين نسحب البنزين من خزان السيارة باستخدام أنبوبة المطاطية للشفط فيصعد البنزين فى الأنبوبة المطاطية (لارتفاع معين). ثم يهبط إلى الخارج ويستمر التدفق رغم الجاذبية الأرضية وكذلك فى معامل الكيمياء باستخدام السحاحة لسحب سائل.

وتسمي هذه الظاهرة السايفون Syphon، ويمكن تفسيرها بأن جزيئات السائل تتجاذب، فتشد بعضها بعضا كحبات مربوطة في سلسلة (شكل ٥ - ١٤)، بحيث يمكن أن تصعد الجزئيات لأعلى لمسافة معينة، متغلبة على قوة الجاذبية، ثم تعود فتهبط. ومن خواص السوائل أيضا الشد السطحى Surface Tension حيث تعمل جزيئات سطح السائل علي التجاذب، بحيث يشد بعضها بعضا كأنه غشاء متصل، وهو نفس نظرية تكوين فقاقيع الهواء والتي يمكن أن يتزن الضغط داخلها مع الضغط الخارجى والشد السطحى فلا تنفجر إلا إذا اختل هذا التوازن. ومن خواص السوائل أيضا خاصية الشعرية Capillarity، حيث تجذب جزيئات الإناء جزيئات السائل بقوى الالتصاق، فيتقوس سطح السائل بفعل الشد السطحى داخل الأنبوبة، وبهذه الخاصية يشد النبات الماء فى الأوعية الشعرية Capillaries، بحيث يستطيع النبات أن يمتص الغذاء (الماء بما فيه من عناصر مغذية) من التربة ويصل إلي الأوراق العلوية.



شكل (٥ - ١٤)
حبات السائل تشد بعضها بعضا

تلخيص

- **أولا : التعاريف والمفاهيم الأساسية :**

- المائع : كل مادة قابلة للإنسياب ولا تتخذ شكلاً محددا بذاته.

- الانسياب المستقر فى الأنابيب يتطلب :

(أ) يملأ السائل الأنبوبة تماما.

(ب) تكون كمية السائل التى تدخل الأنبوبة عند أحد طرفيها مساوية لكمية السائل التى تخرج منها عند الطرف الآخر فى نفس الزمن.

- اللزوجة : هى الخاصية التى تتسبب فى وجود مقاومة أو احتكاك بين طبقات السائل تعوق انزلاق بعضها فوق البعض.

- معامل اللزوجة : هو القوة المماسية المؤثرة على وحدة المساحات ينتج عنها فرق فى السرعة مقداره الوحدة بين طبقتين من السائل المسافة العمودية بينهما الوحدة. وحدة معامل اللزوجة $kgm^{-1}s^{-1}$

- **ثانيا : القوانين والعلاقات الهامة :**

- حجم السائل المنساب بسرعة v خلال المساحة A فى وحدة الزمن $Q = Av$

- معادلة الاستمرارية هى : $A_1 v_1 = A_2 v_2$

- معامل اللزوجة لمائع (η_{vs}) يتعين من العلاقة. $\eta_{vs} = \frac{Fd}{Av}$

حيث F القوة المماسية بين طبقتين من السائل A مساحة الطبقة المتحركة، v سرعة الطبقة المتحركة، d المسافة الفاصلة بين الطبقتين الساكنة والمتحركة.

اسئلة وتمارين

أولا : عرف كلاً مما يأتى :

١- المائع ٢- اللزوجة ٣- معامل اللزوجة

ثانيا : أسئلة المقال :

١- أثبت أن سرعة السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة تتناسب عكسيا مع مساحة مقطع الأنبوبة عند تلك النقطة.

٢-اشرح ظاهرة اللزوجة.

٣- اشرح بعض التطبيقات لخاصية اللزوجة.

ثالثاً التمارين :

١- يسرى ماء فى أنبوبة أفقية بمعدل ثابت $0.002\ m^3/s$ احسب سرعة الماء خلال الأنبوبة إذا كان مساحة مقطعها $1\ cm^2$ (20 m/s)

٢- يمر ماء خلال أنبوبة من المطاط قطرها 1.2 cm بسرعة 3 m/s احسب قطر فوهتها إذا كانت سرعة خروج الماء منها 27 m/s (0.4 cm)

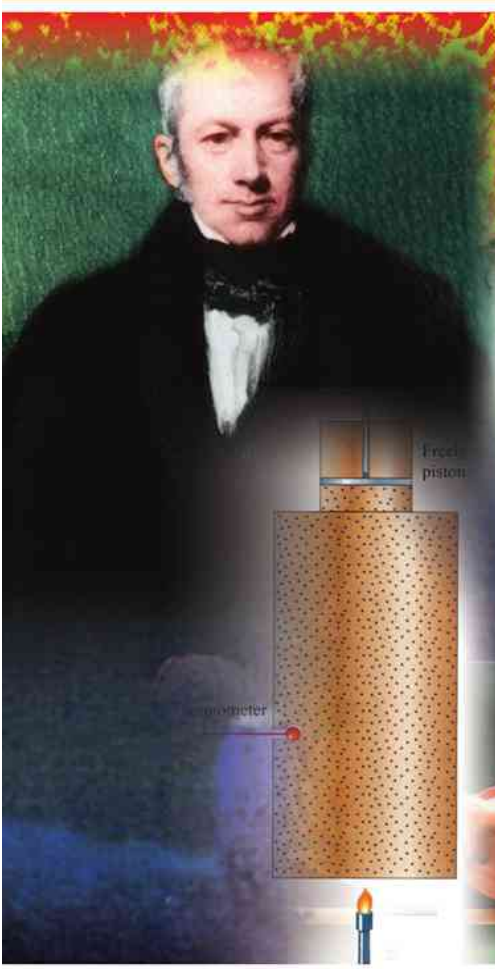
٣- شريان رئيسى يتشعب إلى 80 شعيرة نصف قطر كل منها 0.1mm فإذا كان نصف قطر الشريان 0.035 cm وسرعة سريان الدم به 0.044 m/s احسب سرعة تدفق الدم فى كل شعيرة دموية (0.0067 m/s)

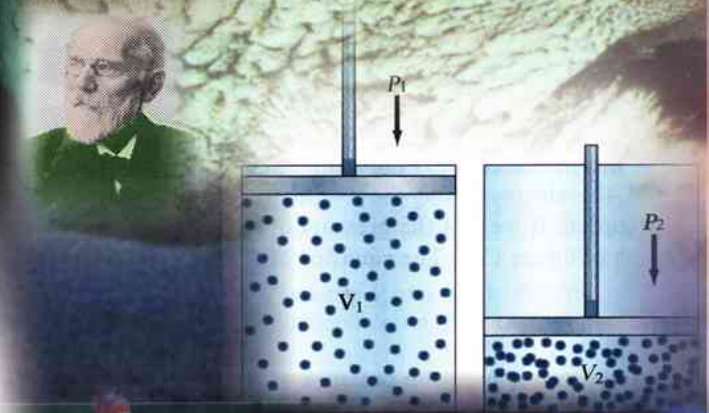
٤- مساحة مقطع أنبوبة عند نقطة مثل A تساوى $10\ cm^2$ وعند نقطة أخرى مثل B تساوى $2\ cm^2$ فإذا كانت سرعة الماء عند A تساوى 12 m/s احسب سرعته عند B (60 m/s)

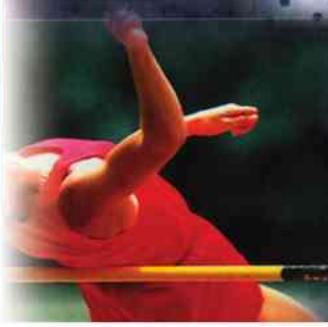
٥- مساحة مقطع أنبوبة مياه تدخل الطابق الأرضى هى $4 \times 10^{-4}\ m^2$ ، وكانت سرعة الماء 2m/s عندما تضيق هذه الأنبوبة بحيث تصبح مساحة مقطعها فى النهاية $2 \times 10^{-4}\ m^2$ احسب سرعة إنسياب الماء فى الطابق العلوى. (4 m/s)

الوحدة الثالثة

الحرارة







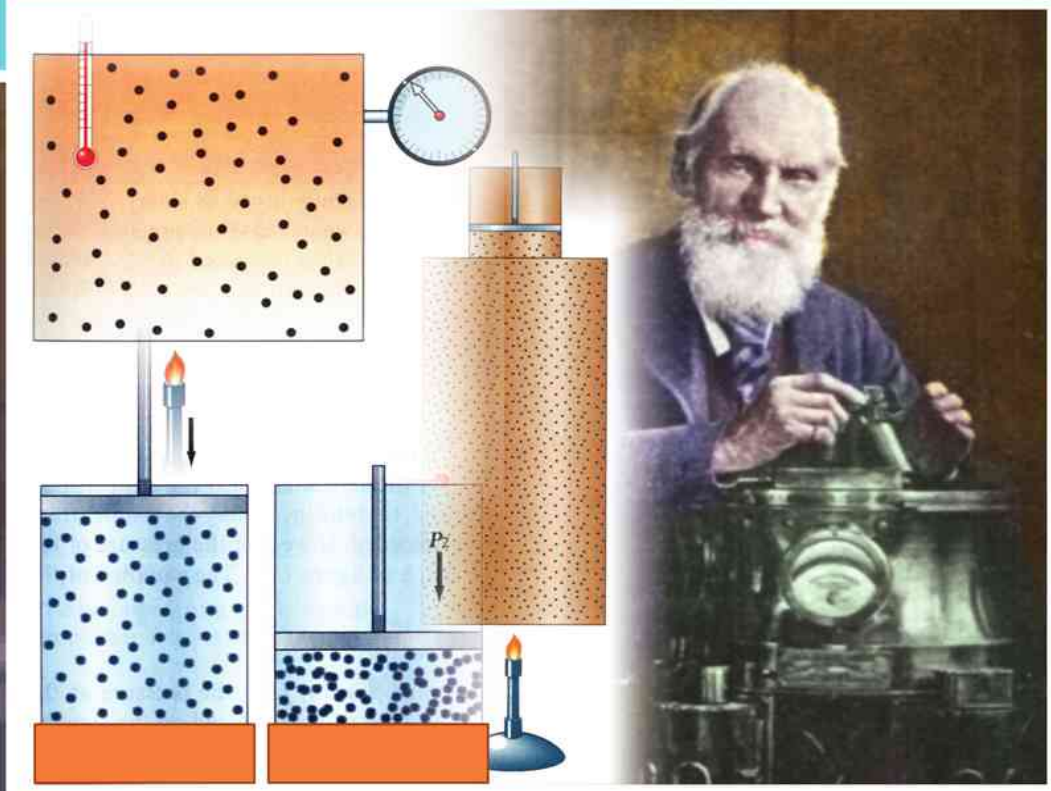
الفصل السادس : قوانين الغازات

الفصل السابع : نظرية الحركة للغازات

الفصل الثامن : فيزياء درجة الحرارة المنخفضة (التبريد)

الحـــرارة

الوحدة الثانية

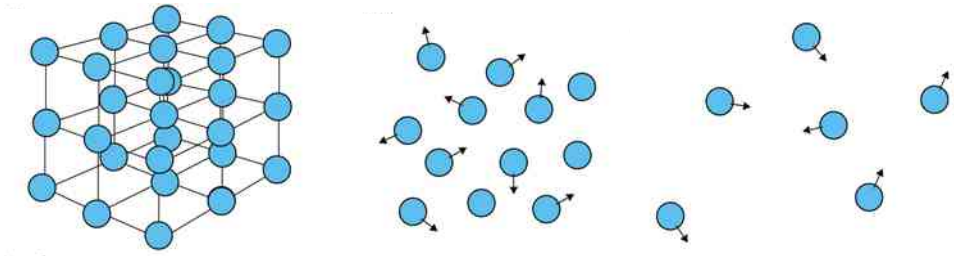


الفصل السادس : قوانين الغازات

الفصل السادس
قـــوانيـــن الغـــــازات

مقدمة:

يمكن إدراك أن جزيئات الغاز فى حالة حركة عشوائية مستمرة من خلال دراسة الحركة البراونية كما يلى :



أ- جزيئات غاز تتحرك حركة انتقالية عشوائية

ب - جزيئات سائل تتحرك حركة انتقالية وتذبذبية

جـ - جزيئات جسم صلب تتحرك حركة تذبذبية فقط

شكل (٦-١)

الحركة البراونية

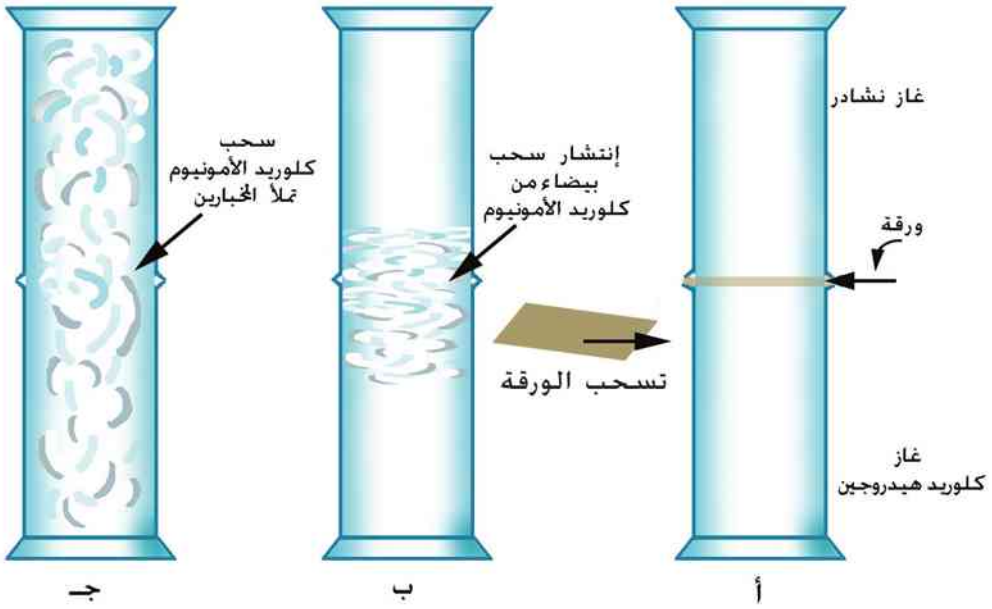
إذا فحصنا دخانا متصاعداً من شمعة بواسطة الميكروسكوب لوجدنا دقائق الكربون المكونة للدخان تتحرك هنا وهناك حركات عشوائية، وحركة دقائق الكربون هذه تعرف بالحركة البراونية، إذ كان براون Brown (عالم نبات اسكتلندى) أول من اكتشف عام ١٨٢٧م أن حبوب اللقاح المعلقة فى الماء تكون دائماً فى حركة عشوائية .

تفسير الحركة البراونية :

تتحرك جزيئات الهواء (أو أى غاز) بسرعات مختلفة وفى جميع الاتجاهات بطريقة عشوائية. وأثناء حركتها تلك تصطدم مع بعضها البعض، كما تصطدم مع دقائق الكربون المكونة للدخان. وعندما يكون عدد التصادمات مع أحد جوانب دقيقة الكربون فى لحظة معينة أكبر من عدد التصادمات مع الجانب المقابل، فإن دقيقة الكربون سوف تتحرك فى اتجاه معين لمسافة قصيرة. والسبب فى ذلك أن جزيئات الغاز ـ بعكس المواد الصلبة ـ حرة الحركة، ودائمة التصادم، فتغير اتجاهها عشوائيا بفعل الحرارة (شكل ٦ - ١).

ويمكن أن نستخلص من ذلك ما يلى :

جزيئات الغاز فى حالة حركة عشوائية مستمرة، وأثناء حركتها تتصادم مع بعضها البعض كما تتصادم مع جدران الإناء الذى يحتويها.



شكل (٦-٢)

توضيح وجود المسافات البينية بين جزيئات الغاز

ويمكن إدراك وجود مسافات فاصلة بين جزيئات الغاز تعرف بالمسافات الجزيئية كما يلى :

إذا أخذنا مخباراً مليئاً بغاز النشادر ونكسناه فوق مخبار آخر ملىء بغاز كلوريد الهيدروجين (شكل ٦-٢)، عندئذ سنشاهد تكون سحابة بيضاء من كلوريد الأمونيوم تأخذ فى النمو والانتشار حتى تملأ كل حيز المخبارين. يفسر ما حدث بأن جزيئات غاز كلوريد الهيدروچين - رغم كونه أكبر كثافة- تنتشر إلى أعلى متخللة مسافات فاصلة بين جزيئات غاز النشادر، حيث تتحد مع جزيئاته مكونة كلوريد الأمونيوم الذى تنتشر جزيئاته لتملأ المخبار العلوى. كما تنتشر جزيئات النشادر- رغم كونه أقل كثافة - إلى

آسفل خلال المسافات الفاصلة بين جزيئات غاز كلوريد الهيدروچين، حيث تتحد مع جزيئاته مكونة كلوريد الأمونيوم الذى تنتشر جزيئاته لتملأ المخبار السفلى.

ومما سبق نستخلص أن جزيئات الغاز بينها مسافات فاصلة كبيرة نسبياً تعرف بالمسافات الجزيئية. ويؤكد هذا قابلية الغازات للإنضغاط، حيث تسمح المسافات الجزيئية الكبيرة نسبياً بتقارب جزيئات الغاز عند تعرضها للضغط، فيقل الحجم الذى يشغله الغاز.

قوانين الغازات :

أصبح من المؤكد أن التجارب التى تجرى لقياس التمدد الحرارى لغاز ما معقدة لأن حجم الغاز يمكن أن يتغير بتغير كل من الضغط أو درجة الحرارة أو كليهما. مثل هذه الصعوبة لا تظهر فى حالة الجوامد أو السوائل لأن قابليتها للإنضغاط صغيرة جداً ويمكن إهمالها.

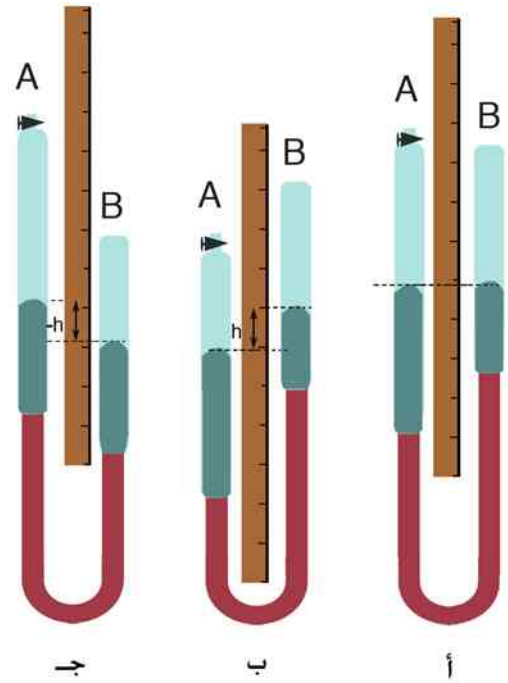
ولإجراء دراسة تامة حول سلوك غاز ما، ينبغى أن نأخذ فى الاعتبار وجود ثلاثة متغيرات هى الحجم والضغط ودرجة الحرارة. لذلك توجد ثلاث تجارب منفصلة، كل منها تستخدم لدراسة العلاقة بين متغيرين فقط مع تثبيت المتغير الثالث. هذه التجارب هى :

١- العلاقة بين حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته (قانون بويل).

٢- العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه (قانون شارل).

٣- العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه (قانون الضغط أو قانون جولى).

وسنتناول فيما يلى دراسة كل من العلاقات الثلاث.



شكل (٦ - ٣)

جهاز بويل

أولاً : العلاقة بين حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته (قانون بويل)

لدراسة العلاقة بين حجم مقدار معين من غاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته، يستخدم الجهاز الموضح فى الشكل (٦ - ٣). ويتكون من أنبوبة زجاجية (A) تشبه سحاحة مقلوبة يبدأ تدريجها من أعلى . تتصل الأنبوبة (A) بأنبوبة أخرى (B) من الزجاج بواسطة أنبوبة من المطاط. وتحتوى الأنبوبتان على كمية مناسبة من الزئبق.

ويحمل الأنبوبتين قائم رأسى مثبت على قاعدة أفقية ترتكز على ثلاثة مسامير محواة يمكن بواسطتها جعل القائم رأسياً تماماً. والأنبوبة (B) قابلة للحركة على طول القائم الرأسى إلى أعلى أو إلى أسفل، ويمكن تثبيتها فى أى موضع.

ونتبع الخطوات الآتية :

١- نفتح صنبور الأنبوبة (A) مع تحريك الأنبوبة (B) إلى أعلى أو أسفل حتى يصبح سطح الزئبق فى الأنبوبة (A) عند منتصفها (شكل ٦-١٣أ).

ونظرا لأن الأنبوبتين مفتوحتان يكون سطحاً الزئبق فيهما فى مستوى أفقى واحد.

٢- نغلق صنبور الأنبوبة (A) ونقيس حجم الهواء المحبوس وليكون $(V_{ol})_1$ وضغطه وليكن P_1 يساوى الضغط الجوى P_a cm Hg الذى نعينه بواسطة البارومتر.

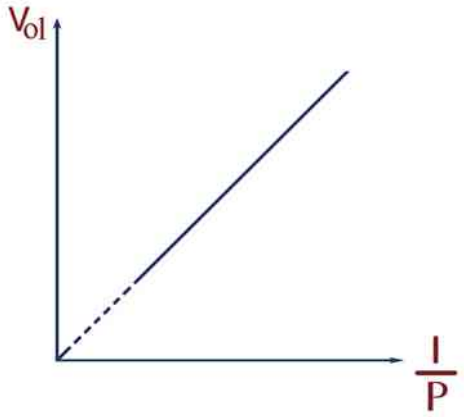
٣- نحرك الأنبوبة (B) إلى أعلى مسافة مناسبة (عدة سنتيمترات)، وعندئذ نقيس حجم الهواء المحبوس وليكن $(V_{ol})_2$ ، ونقيس فرق الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الأنبوبتين وليكن h. وعندئذ يكون ضغط الهواء المحبوس هو $P_2 = P_a + h$ (شكل ٦-٣ب).

٤- نكرر الخطوة السابقة مرة أخرى على الأقل بتحريك الأنبوبة (B) إلى أعلى مسافة مناسبة أخرى ونعين $(V_{ol})_3$, P_3 بنفس الكيفية.

٥- نحرك الأنبوبة (B) إلى أسفل حتى يصبح سطح الزئبق فى الأنبوبة (B) أقل من سطح الزئبق فى الأنبوبة (A) بعدة سنتميترات. وعندئذ نقيس حجم الهواء المحبوس وليكن $(V_{ol})_4$ وضغطه P_4 هو $P_4 = P_a - h$ ، حيث h هو فرق الإرتفاع بين سطحى الزئبق فى الأنبوبتين (شكل ٦-٣ حـ).

٦- نكرر الخطوة السابقة مرة أخرى على الأقل بتحريك الأنبوبة (B) إلى أسفل مسافة أخرى ونوجد $(V_{ol})_5$, P_5 بنفس الكيفية.

٧- نرسم علاقة بيانية بين حجم الغاز V_{ol} ممثلاً على المحور الرأسى ومقلوب الضغط ($\frac{1}{P}$) ممثلاً على المحور الأفقى. نحصل على خط مستقيم كما فى الشكل (٦ - ٤).



شكل (٦ - ٤)
العلاقة بين حجم الغاز ومقلوب الضغط

ومن هذه العلاقة البيانية نتبين أن :

$$V_{ol} \propto \frac{1}{P}$$

ومن هذه العلاقة يكون :

حجم مقدار معين من غاز يتناسب تناسباً عكسياً مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته. وهذا هو نص قانون بويل.

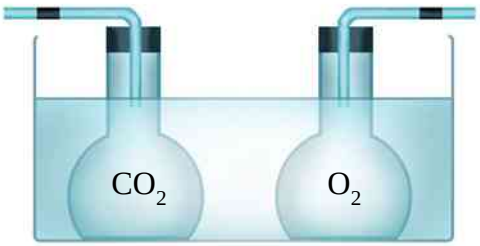
ويمكن صياغة قانون بويل بكيفية أخرى حيث يكون : $V_{ol} = \frac{const}{P}$ أى أن:

$$P\,V_{ol} = const \qquad (6 - 1)$$

عند ثبوت درجة الحرارة يكون حاصل الضرب $\mathbf{PV_{ol}}$ لكمية معينة من غاز مقداراً ثابتاً.

أثر الحرارة فى حجم الغاز عند ثبوت ضغطه :

نعلم أن الغازات تتمدد بالحرارة وتنكمش بالبرودة. ولكن هل تتمدد الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة وهى تحت ضغط ثابت بمقادير متساوية أم بمقادير مختلفة ؟



شكل (٦ - ٥)
أثر الحرارة فى حجم الغاز مع ثبوت ضغطه

لادراك ذلك نجرى التجربة الآتية :

١- نأخذ دورقين متساويين فى الحجم تماماً وفوهة كل منهما مسدودة بسداد تنفذ

منه أنبوبة زجاجية منثنية على شكل زاوية قائمة بها زئبق على شكل خيط طوله 2cm أو 3cm ، وليكن أحدهما مملوءاً بالأكسجين والآخر مملوءا بالهواء أو ثانى أكسيد الكربون. ثم اغمرهما فى حوض به ماء كما فى شكل (٦ - ٥).

٢- أضف إلى ماء الحوض قليلاً من الماء الساخن ولاحظ مقدار المسافة التى يتحركها خيط الزئبق فى كل منهما.

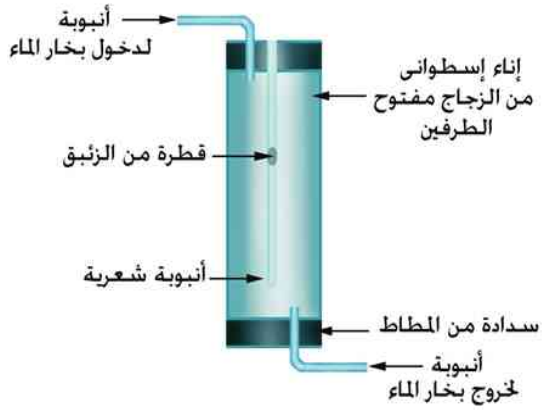
نلاحظ أن خيطى الزئبق يتحركان مسافتين متساويتين مما يدل على أن الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تتمدد بمقادير متساوية إذا ارتفعت درجة حرارتها بنفس المقدار مع ثبوت ضغطها. ومن ثم نتوقع أن يكون معامل التمدد الحجمى لها واحداً.

معامل التمدد لغاز تحت ضغط ثابت :

«هو مقدار الزيادة فى وحدة الحجوم من الغاز وهى فى درجة $0^{o}C$ إذا ارتفعت درجة حرارتها درجة واحدة مئوية مع بقاء ضغطها ثابتاً» ويرمز له بالرمز (α_V)

ثانيا: العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه (قانون شارل):

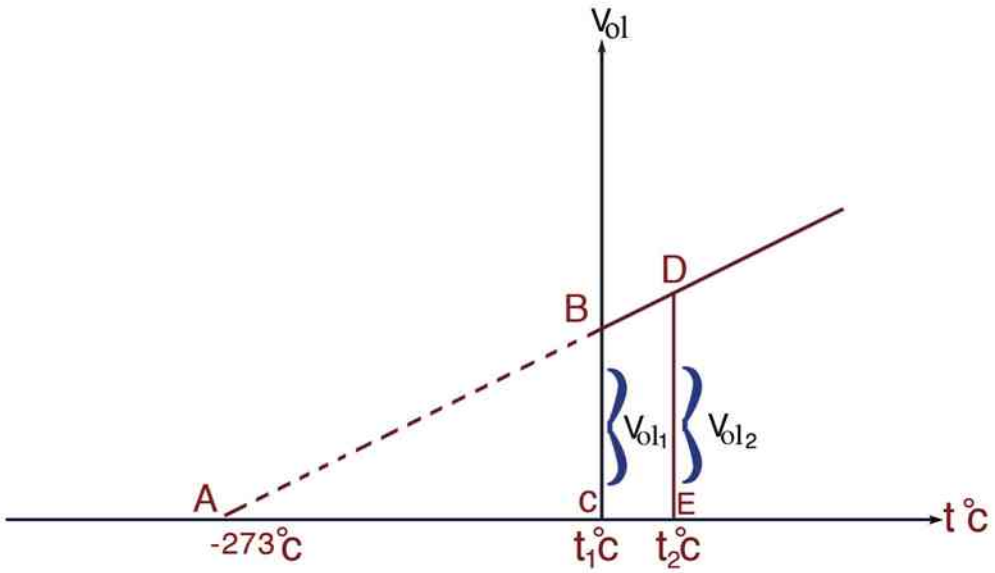
لدراسة العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه يستخدم جهاز شارل المبين بالشكل (٦-١٦)، ويتركب من أنبوبة زجاجية طولها 30 cm وقطرها حوالى 1mm مقفلة من أحد طرفيها. بها قطرة من الزئبق تحبس كمية من الهواء داخل الأنبوبة، والأنبوبة مثبتة مع ترمومتر على مسطرة مدرجة داخل إناء اسطوانى من الزجاج. وتتبع الخطوات الآتية:



شكل (٦ - ١٦)

جهاز شارل

١- يوضع الجهاز السابق داخل غلاف من الزجاج، ويملأ الغلاف بجليد مجروش آخذ فى الإنصهار. ويترك فترة مناسبة



شكل (٦ - ٦ب)

قانون شارل

علاقة الحجم بدرجة الحرارة عند ثبوت الضغط

حتى يبرد الهواء داخل الأنبوبة إلى 0^oC.

٢- يقاس طول عمود الهواء المحبوس الذى يتخذ مقياساً لحجمه $(V_{ol})_{0°C}$ نظراً لأن الأنبوبة منتظمة المقطع.

٣- يفرغ الغلاف من الجليد والماء، ثم يمرر بخار ماء فى الغلاف من أعلى إلى أسفل مع الانتظار مدة مناسبة حتى تصبح درجة حرارة الهواء المحبوس $100\ ^{\circ}C$ ، ويقاس طول عمود الهواء المحبوس، ويتخذ مقياساً لحجمه وليكن $(V_{ol})_{100°C}$.

٤- ترسم علاقة بين الحجم V_{ol} ودرجة الحرارة (شكل ٦-٦ب)، نجد أن هذه العلاقة خط مستقيم. وإذا مددنا هذا الخط، فإنه يقطع المحور الأفقى عند قيمة $-273^{\circ}C$.

٥- يعين معامل التمدد الحجمى للهواء عند ثبوت ضغطه من العلاقة :

$$\alpha_V = \frac{(V_{ol})_{100°C} - (V_{ol})_{0°C}}{(V_{ol})_{0°C} \times 100^{\circ}C} \qquad (6\text{-}2)$$

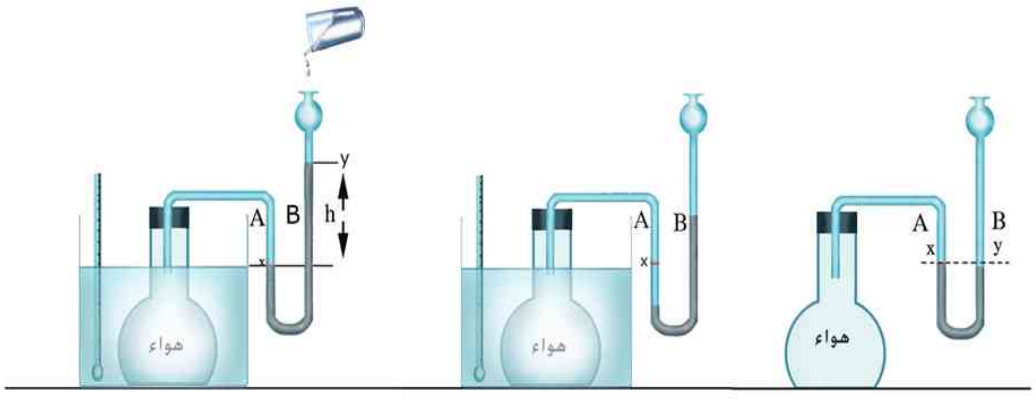
وقد وجد عملياً أن معامل التمدد الحجمى للهواء α_V يساوى $\frac{1}{273}$ لكل درجة. ونظراً لأن الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تتمدد تحت ضغط ثابت بمقادير متساوية يكون لمعامل التمدد الحجمى للغازات المختلفة نفس القيمة. هذه النتيجة صاغها شارل كما يلى :

قانون شارل

عند ثبوت الضغط يزداد حجم كمية من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من حجمها الأصلى عند 0^oC لكل ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره درجة واحدة ولا تختلف هذه القيمة من غاز لآخر.

أثر الحرارة فى ضغط الغاز عند ثبوت حجمه :

١- لدراسة تأثير الحرارة على ضغط غاز ما عند ثبوت حجمه، نأخذ دورقاً زجاجياً مسدوداً بسدادة تنفذ منها أنبوبة ذات شعبتين (A) ، (B) كالمبينة فى شكل (٦ - ٧). نلاحظ أن الأنبوبة تحتوى على كمية مناسبة من الزئبق يستقر سطحاه فى الشعبتين (A)، (B) فى مستوى أفقى واحد عند (X) ، (Y). لذلك يكون ضغط الهواء المحبوس فى الدورق مساوياً للضغط الجوى. ثم نعين درجة حرارة الهواء ولتكن $t_1{}^oC$ (شكل ٦-١٧).



شكل (٦ - ٧)

أثر الحرارة على الضغط عند ثبوت الحجم

٢- نغمر الدورق فى حوض به ماء دافئ درجة حرارته $t_2\,^{\circ}C$. نلاحظ أن سطح الزئبق يبدأ فى الانخفاض فى الشعبة (A)، بينما يرتفع فى الشعبة (B) (شكل ٦-٧ب).

٣- نصب زئبقاً فى القمع حتى يعود سطح الزئبق فى الشعبة (A) إلى العلامة (X) حتى يتساوى حجم الهواء المحبوس فى الدورق وهو فى $(t_2\,^{\circ}C)$ مع حجمه وهو فى $(t_1\,^{\circ}C)$.

٤- نلاحظ أن سطح الزئبق فى الشعبة (B) يعلو عن سطحه فى (A) بمقدار معين وليكن h cm مما يدل على أن ضغط الهواء المحبوس قد إزداد نتيجة لارتفاع درجة الحرارة من $t_1\,^{\circ}C$ إلى $t_2\,^{\circ}C$ بمقدار يساوى h (cm Hg) (شكل ٦-٧حـ).

٥- وإذا أجرينا التجربة السابقة عدة مرات مع ملء الدورق بغاز مخالف فى كل مرة وتم تعيين مقدار الزيادة فى ضغط الغاز مع ثبوت حجمه بارتفاع درجة الحرارة لنفس المقدار فإننا نتبين ما يلى :

١- عند ثبوت حجم الغاز يزداد ضغطه بإرتفاع درجة الحرارة.

٢- عند ثبوت الحجم تزداد الضغوط المتساوية للغازات المختلفة بنفس المقدار إذا ارتفعت درجة حرارتها بمقادير متساوية.

معامل الزيادة فى الضغط: هو مقدار الزيادة فى وحدة الضغط المقاسة عند درجة $0\,^{\circ}C$ إذا رفعت درجة حرارتها درجة واحدة عند ثبوت الحجم.

ثالثاً: العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه (قانون الضغط):

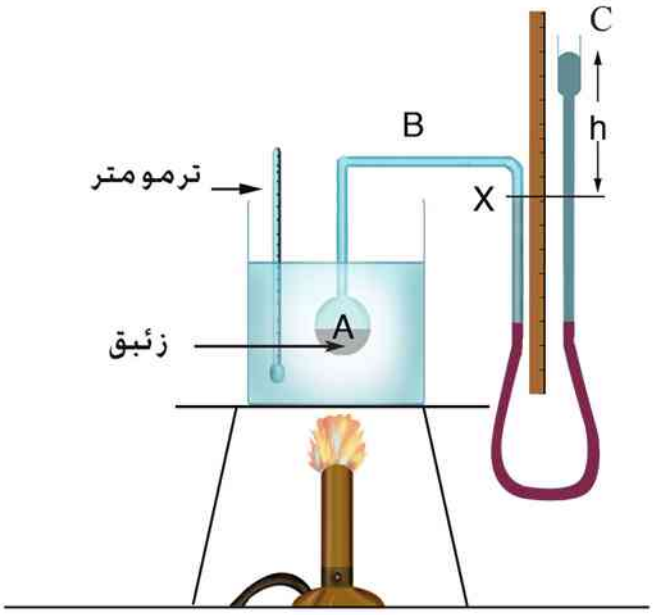
وجد عمليا أن الزيادة فى ضغط الغاز تتناسب طرديا مع الضغط الأصلى المقاس عند درجة $0\,^{\circ}C$ $(P_{0\,^{\circ}C})$، وكذلك مع الارتفاع فى درجة حرارته $(\Delta t\,^{\circ}C)$. ويعبر عن هذا كما يلى:

$$\Delta P \propto P_{0\,^{\circ}C}\,\Delta t\,^{\circ}C$$

$$\Delta P = \beta_P\, P_{0\,^{\circ}C}\,\Delta t\,^{\circ}C$$

$$\beta_P = \frac{\Delta P}{P_{0\,^{\circ}C}\,\Delta t\,^{\circ}C} \qquad (3\text{-}6)$$

حيث β_P مقدار ثابت وهو معامل زيادة ضغط الغاز مع درجة حرارته عند ثبوت حجمه.



شكل (٦ - ٨)

جهاز جولى

ولتعيين معامل زيادة ضغط الغاز عند ثبوت حجمه يستخدم جهاز جولى الموضح فى الشكل (٦- ٨)، ويتركب من مستودع كروى (A) من الزجاج رقيق الجدران، يتصل بأنبوبة شعرية (B) طويلة ومنثنية على شكل زاويتين قائمتين، وهو مثبت على لوحة رأسية مثبتة بدورها على قاعدة أفقية ترتكز على ثلاثة مسامير محواة. ويتصل طرف الأنبوبة الشعرية (B) بواسطة أنبوبة من المطاط بأنبوبة متسعة نوعا ما وهى الأنبوبة (C). والأنبوبة (C) قابلة للحركة إلى أعلى أو إلى أسفل على اللوحة الرأسية. وتوجد مسطرة مدرجة مثبتة على هذه اللوحة.

ونتبع خطوات العمل الآتية:

١- نعين الضغط الجوى وقت التجربة باستخدام البارومتر.

٢- ندخل فى المستودع (A) $\frac{1}{7}$ حجمه زئبقا ليظل حجم الجزء المتبقى منه ثابتا فى جميع درجات الحرارة (حيث أن معامل التمدد الحجمى للزئبق سبع أمثال معامل التمدد الحجمى للزجاج).

٣- نغمر المستودع (A) فى كأس به ماء ثم نصب زئبقا فى الفرع الخالص (C) حتى يرتفع سطحه فى الفرع الآخر إلى علامة معينة (X).

٤- نسخن الماء فى الكأس حتى يغلى وننتظر مدة مناسبة حتى تثبت درجة الحرارة ويقف انخفاض سطح الزئبق فى الفرع المتصل بالمستودع.

٥- نحرك الفرع الخالص (C) إلى أعلى حتى يرتفع سطح الزئبق فى الفرع الآخر إلى نفس العلامة (X). ثم نقيس الفرق فى الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الفرعين وليكن (h). ومن ذلك نحدد ضغط الهواء المحبوس وليكن (P)، وهو يساوى الضغط الجوى (cm Hg) مضافا إليه الفرق فى الارتفاع (h).

٦- نحرك الفرع (C) إلى أسفل ثم نوقف التسخين ونترك المستودع لتنخفض درجة حرارته إلى حوالى $90C^{\circ}$ ، ثم نحرك الفرع (C) إلى أعلى حتى يرتفع سطح الزئبق فى الفرع المتصل بالمستودع إلى العلامة (X)، ثم نعين درجة الحرارة وفرق الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الفرعين. ومن ذلك نحسب ضغط الهواء المحبوس فى هذه الحالة.

٧- نكرر العمل السابق عدة مرات عند درجات حرارة مختلفة وفى كل مرة نحسب ضغط الهواء المحبوس بنفس الكيفية السابقة.

٨- نرسم علاقة بيانية بين درجات الحرارة ممثلة على المحور الأفقى والضغط ممثلا على المحور الرأسى. نجد أن العلاقة خط مستقيم ، ثم نحسب معامل الزيادة فى ضغط الغاز عند ثبوت حجمه من العلاقة:

$$\beta_P = \frac{P_{100^{\circ}C} - P_{0^{\circ}C}}{P_{0^{\circ}C} \times 100} \qquad (6-4)$$

وقد وجد عمليا أن معامل زيادة ضغط الهـواء عنـد ثبوت حجمـه يساوى $\frac{1}{273}$ لكل ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره درجة واحدة . ولقد وجد أن معامل زيادة ضغط الغازات المختلفة عند ثبوت حجومها يكون له نفس القيمة.

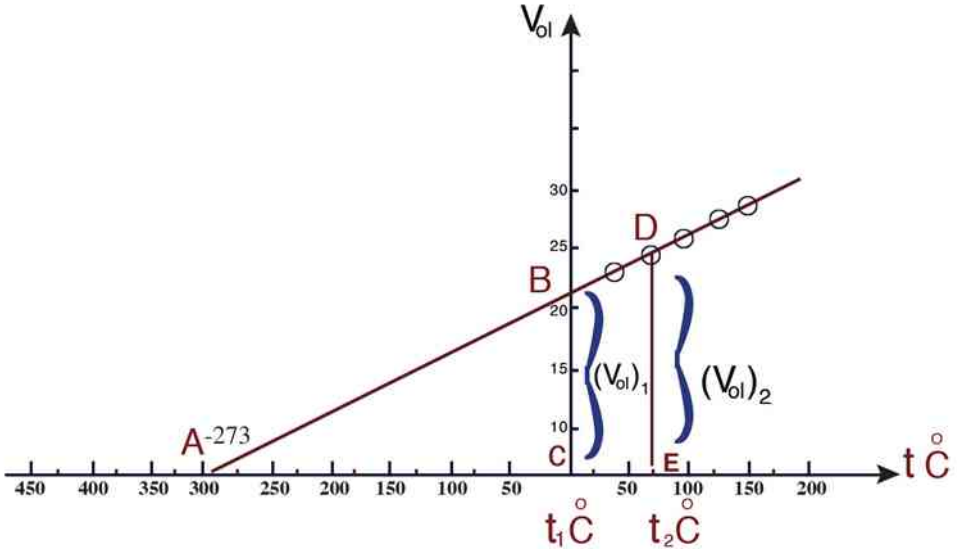
ويمكن من نتائج التجربة السابقة أن نتوصل إلى ما يلى:

عند ثبوت الحجم يزداد ضغط كمية معينة من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من ضغطه فى صفـر سلزيوس لكل ارتفـاع فى درجـة الحـرارة مـقداره درجـة واحـدة. وهذا هـو قـانون الضغط.

الصفر المطلق (صفر كلفن):

باستـخدام الجهاز المبين بـشكل (٦-٧) لقيـاس حجم الهواء المحبـوس فى درجات حرارة مختلفة.

يمكننا رسم علاقة بيانية بين الحجم ممثلا على المحور الرأسى ودرجة الحرارة مقاسة على تدريج سلزيوس ممثلة على المحور الأفقى، نحصل على خط مستقيم كما فى الشكل (٦-٩). نمد هذا الخط المستقيم على استقامته نجد إنه يقطع محور درجات الحرارة عند (-273°C).

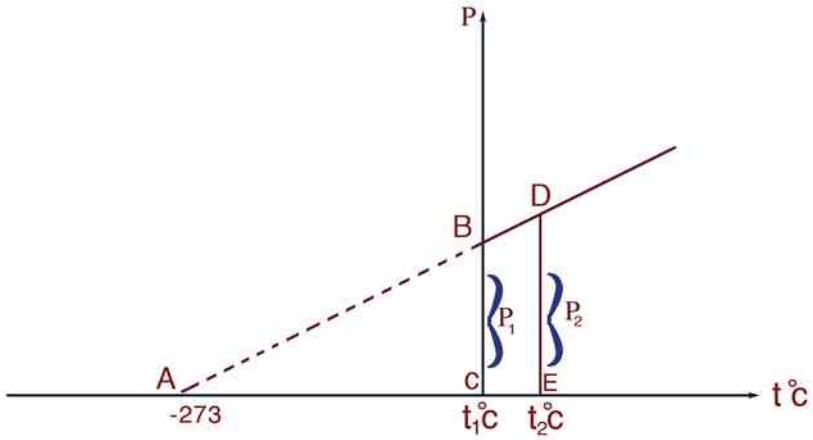


شكل (٦ - ٩)

استنتاج الصفر كلفن من قانون شارل

كما يمكن الاستعانة بالنتائج التى حصلنا عليها فى تجربة جهاز جولى وتمثيل هذه النتائج بيانيا، حيث تمثل الضغط على المحور الرأسى وتمثل درجة الحرارة مقاسة على تدريج سلزيوس على المحور الأفقى، عندئذ يتم الحصول على خط مستقيم كما فى الشكل (٦-١٠).

وعند مد هذا الخط المستقيم على استقامته يلاحظ أنه يقطع محور درجة الحرارة هو الآخر عند (-273°C)



شكل (٦ - ١٠)

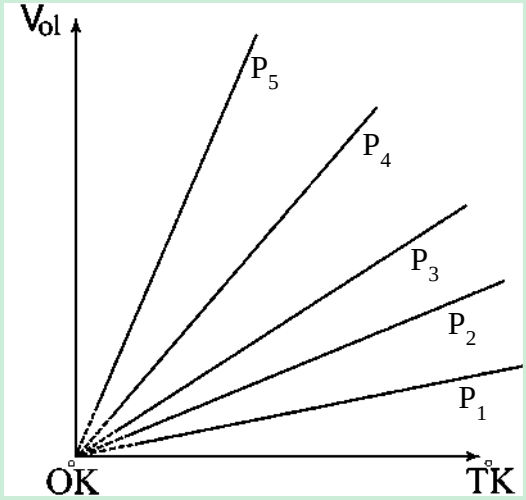
استنتاج الصفر المطلق من تجربة جولى

من الشكلين (٦-٩) و(٦-١٠) تكون أقل درجة حرارة يمكن الوصول إليها نظريا هى -273°C . هذه الدرجة تقابل ما يسمى الصفر المطلق أو صفر كلفن. وهى درجة الحرارة التى ينعدم عندها حجم وضغط الغاز المثالى. ودرجة الحرارة على مقياس كلفن قيمة موجبة دائماً بينما درجة سلزيوس °C تتدرج بين الموجب والسالب.

معلومة إثرائية

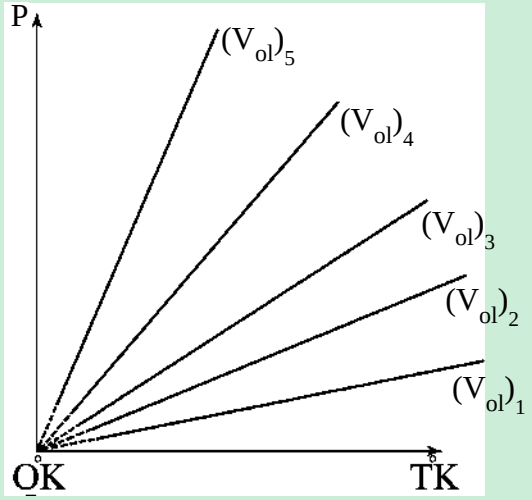
الصفر المطلق

يمكن إعـادة رسم شكلى (٦ - ٩ ، ٦ - ١٠) بحـيث يكون المحـور الأفـقى هـو درجـة الحـرارة المطلقـة. فـيكون لـدينا شكل (٦ - ١١) و شكل (٦ - ١٢)، يلاحظ أنه عند درجـة الصـفر كلفن فإن الحـجم $V_{ol} = 0$ والضـغط $P = 0$، ولكن فى الـواقع فإنه مع التبـريد الشـديد لا تظل المادة بحـالتـها الغـازية، بل تتـحول إلـى سـائل وأحيـانا صلب، ومن ثم لا تخـضع لقوانين الغـازات. ولذلك فإن تعـريف الغـاز المثـالى هو الغـاز الذى يتـلاشى حـجمه وضغـطه عند درجة الصـفر المطلق. ويلاحظ أننا أهملنا القوى بين الجـزيئات وحـجم تلك الجزيئات بالنسبة للإناء فى استنتاج قوانين الغاز المثالى وهو ما يسمى بالغاز الكامل.



(شكل ٦ - ١١)

علاقة الحجم بدرجة الحرارة المطلقة عند ضغط ثابت



(شكل ٦ - ١٢)

علاقة الضغط بدرجة الحرارة المطلقة عندحجم ثابت

ولإيجاد العلاقة بين تدريج سلزيوس وتدريج كلفن نأخذ فى الاعتبار ما يلى:

$0^\circ K$ تقابل $(-273^\circ C)$

$273^\circ K$ يقابل $0^\circ C$

$373^\circ K$ تقابل $100^\circ C$

أى أن: $T(^\circ K) = 273 + t(^\circ C)$ (6 - 5)

صور أخرى لقانونى شارل وجولى (الضغط):

١-يمكن الاستعانة بالشكل (٦-٩) فى الحصول على صيغة أخرى لقانون شارل. من تشابه المثلثين ABC ، ADE حيث:

$BC = (V_{ol})_1$

$DE = (V_{ol})_2$

$AC = T_1$

$AE = T_2$

$V_{ol} \propto T$

$\frac{V_{ol}}{T} = const$

$$\therefore \frac{(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{(V_{ol})_2}{T_2} \qquad (6-6)$$

وبذلك يكون

عند ثبوت الضغط يتناسب حجم كمية معينة من غاز تناسبا طرديا مع درجة حرارته على تدريج كلفن. وهذه صيغة أخرى لقانون شارل.

٢-وبالاستعانة بالشكل (٦-١٠) وبنفس طريقة تشابه المثلثين يمكن الحصول على العلاقة:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \qquad (6-7)$$

أى أن:

$$\frac{P}{T} = const$$

وبذلك يكون:

$$P \propto T$$

عند ثبوت الحجم يتناسب ضغط كمية معينة من غاز تناسبا طرديا مع درجة حرارته على تدريج كلفن. وهذه صيغة أخرى لقانون الضغط.

القانون العام للغازات:

ذكرنا فيما سبق أن سلوك غاز ما يمكن وصفه بمتغيرات ثلاثة هى الحجم والضغط ودرجة الحرارة، والعلاقة التى تربط بين المتغيرات الثلاثة هى القانون العام للغازات.

ويمكن استنتاج القانون العام للغازات كما يلى:

من قانون بويل $V_{ol} \propto \frac{1}{P}$ عند ثبوت درجة الحرارة

ومن قانون شارل $V_{ol} \propto T$ عند ثبوت الضغط

من ذلك نتبين أن: $V_{ol} \propto \frac{T}{P}$

ومن هذه العلاقة: $V_{ol} = \text{const} \times \frac{T}{P}$

أى أن: $\therefore \frac{P V_{ol}}{T} = \text{const}$

$$\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2} \qquad (6-8)$$

وهذا هو القانون العام للغازات.

أمثلة:

١- إذا كان حجم غاز فى درجة صفر سلزيوس $450\ cm^3$ فما حجمه فى $91^\circ C$ بفرض أن ضغطه يظل ثابتا؟

الحـــــل:

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{450}{(V_{ol})_2} = \frac{273}{273+91}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{450 \times 364}{273} = 600\ cm^3$$

٢- سخن نصف لتر من الهيدروچين من $10^\circ C$ إلى $293^\circ C$ فكم يكون حجمه بفرض أن ضغطه ثابت؟

الحـــــل:

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{500}{(V_{ol})_2} = \frac{273 + 10}{273 + 293}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{500 \times 566}{283} = 1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ liter}$$

٣- إذا كان ضغط غاز فى $26^\circ C$ هو $59.8 cmHg$ فما ضغطه عند $130^\circ C$ مع العلم بأنه ثابت الحجم؟

الحـــــل:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{59.8}{P_2} = \frac{273 + 26}{273 + 130}$$

$$P_2 = \frac{59.8 \times 403}{299} = 80.6 \text{ cmHg}$$

٤- مقدار من غاز يشغل فى درجة $27^\circ C$ وتحت ضغط $60 cmHg$ حجما قدره 380 cm^3 فكم يكون حجمه عند معدل الضغط ودرجة الحرارة(S.T.P)؟

الحـــــل:

(S.T.P) معناه أنه تحت ضغط 76 cmHg وفى درجة حرارة $0^\circ C$ أو $273^\circ K$

$$\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2}$$

$$\frac{60 \text{ X } 380}{300} = \frac{76 \times (V_{ol})_2}{273}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{60 \text{ X } 380 \text{ X } 273}{76 \text{ X } 300} = 273 \text{ cm}^3$$

٥- مقدار من غاز النيتروچين حجمه 15 liters عندما يكون الضغط الواقع عليه 12 cmHg ومقدار من غاز الأكسچين حجمه 10 liters عندما يكون الضغط الواقع عليه 50cmHg وضعا فى إناء مقفل سعته 5 liters ، فإذا كانت درجة حرارة الغازين ثابتة أثناء خلطهما فأوجد ضغط مزيجهما.

الحـــــل:

كل من الغازين يشغل بعد الخلط سعة الإناء أى 5 liters

لإيجاد ضغط غاز النيتروچين بعد الخلط يطبق القانون :

$$P\ V_{ol} = P_1\ (V_{ol})_1$$

$$\therefore\ 12 \times 15 = P_1 \times 5$$

$$P_1 = 36\ \text{cmHg}$$

لايجاد ضغط غاز الاكسچين نطبق العلاقة

$$PV_{ol} = P_2\ (V_{ol})_2$$

$$P_2 = \frac{10 \times 50}{5} = 100\ \text{cm Hg}$$

وبما أن ضغط مخلوط غازين يساوى مجموع الضغطين الجزئيين لهما فإن ضغط مخلوط الغازين

$$P = P_1 + P_2 = 36 + 100 = 136\ \text{cm Hg}$$

تلخيص

١-التعاريف والمفاهيم الأساسية :

- جزيئات الغاز فى حالة حركة عشوائية مستمرة تتصادم مع بعضها البعض كما تتصادم مع جدران الإناء الذى يحتويها.
- توجد مسافات فاصلة بين جزيئات الغاز تعرف بالمسافات الجزيئية.
- قانون بويل : عند ثبوت درجة الحرارة يتناسب حجم كمية معينة من غاز تناسباً عكسياً مع ضغطها.
- قانون شارل : عند ثبوت الضغط يزداد حجم مقدار معين من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من حجمه الأصلى عند $0\ ^\circ C$ لكل ارتفاع فى درجة الحرارة مقدارها درجة واحدة.

أو يتناسب حجم كمية ثابتة من الغاز مع درجة الحرارة المطلقة تحت ضغط ثابت.

- قانون الضغط (جولى) : عند ثبوت الحجم يزداد ضغط مقدار معين من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ مـــن ضغطه الأصلى عند $0\ ^\circ C$ لكل ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره درجة واحدة.

أو يتناسب ضغط كمية ثابتة من الغاز مع درجة الحرارة المطلقة تحت حجم ثابت.

- معامل زيادة الضغط بزيادة درجة الحرارة عند ثبوت الحجم = معامل زيادة الحجم بزيادة درجة الحرارة عند ثبوت الضغط = $\frac{1}{273}$ لكل الغازات
- درجة الحرارة المطلقة (على مقياس كلفن) = درجة الحرارة على تدريج سلزيوس مضافا إليها 273

٢-القوانين الهامة:

إذا كان V_{ol} حجم كمية معينة من غاز ، P ضغطها T درجة حرارتها على مقياس كلفن فإن:

- قانون بويل $PV_{ol} = const$ عند ثبوت درجة الحرارة.
- قانون شارل $\frac{V_{ol}}{T} = const$ عند ثبوت الضغط
- قانون الضغوط $\frac{P}{T} = const$ عند ثبوت الحجم.
- القانون العام للغازت $\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2}$
- أى أن $\frac{PV_{ol}}{T} = const$
- معامل ازدياد الحجم بازدياد درجة الحرارة عند ثبوت الضغط.

لكل درجة $\alpha_v = \frac{(V_{ol})_{t°C} - (V_{ol})_{0°C}}{(V_{ol})_{0°C} \times \Delta t°_C}$

- معامل ازدياد الضغط بازدياد درجة الحرارة عند ثبوت الحجم.

لكل درجة $\beta_P = \frac{P_{t°C} - P_{0°C}}{P_{0°C} \times \Delta t°_C} = \frac{1}{273}$

أسـئلة وتمـارين

أولاً: أكمل

أى العبارات تكمل الجمل التالية لها:

(أ) يزيد بمقدار صغير. (ب) يقل بمقدار صغير .

(جـ) يظل ثابتا. (د) يتضاعف.

(هـ) ينقص إلى النصف.

١- إذا تضاعف ضغط كمية معينة من غاز عندما تكون درجة الحرارة ثابتة فإن الحجم.....

٢- إذا انتقل بارومتر من مستوى سطح البحر إلى أعلى جبل فإن ارتفاع الزئبق فى البارومتر .....

٣- إذا كان ضغط الغاز ثابتا وقلت درجة حرارته على تدريج كلفن إلى النصف فإن حجمه.....

ثانيا تخير الإجابة الصحيحة

١- زيادة درجة حرارة اطار السيارة أثناء القيادة يؤدى إلى:

١) زيادة ضغط الهواء داخل الاطار

٢) زيادة حجم الهواء داخل الاطار

٣) نقص مساحة سطح الجزء من العجلة الملاصقة للطريق

اختر الحرف المناسب فيما يلى للإجابة

(أ) (١، ٢، ٣) صحيحة (ب) (١، ٢) صحيحة

(جـ) (١، ٣) صحيحة (د) (٣) فقط صحيحة

(هـ) (١) فقط صحيحة

٢- درجة حرارة جسم الإنسان على مقياس كلفن لدرجات الحرارة تساوى تقريبا.

(أ) $0^{\circ}K$ (ب) $37^{\circ}K$

(جـ) $100^{\circ}K$ (د) $373^{\circ}K$

(هـ) $310^{\circ}K$

٣- يتناسب حجم كمية محدودة من غاز ما:

(أ) عكسيا مع درجة حرارته عند ثبوت ضغطه

(ب) عكسيا مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته

(جـ) طرديا مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته

(د) طرديا مع درجة حرارته عند تغير الضغط

(هـ) عكسيا مع ضغطه عند تغير درجة حرارته

٤- ضغط الغاز عند $10^{\circ}C$ يتضاعف إذا تم تسخين الغاز تحت حجم ثابت إلى:

(أ) $20^{\circ}C$ (ب) $80^{\circ}C$

(جـ) $160^{\circ}C$ (د) $293^{\circ}C$

(هـ) $410^{\circ}C$

٥- إذا انضغط غاز ببطء إلى نصف حجمه الأصلى فإن :

(أ) درجة حرارة الغاز ستتضاعف

(ب) درجة حرارة الغاز ستنقص إلى نصف قيمتها

(جـ) ضغط الغاز سيصل إلى النصف

(د) سرعة الجزيئات تتضاعف

(هـ) ضغط الغاز سيتضاعف

ثالثا: أسئلة المقال:

١- كيف تبين بالتجربة أن معامل التمدد الحجمى لجميع الغازات واحد عند ثبوت الضغط؟

٢- صف طريقة لإيجاد معامل ضغط الغاز عند ثبوت حجمه وإنه ثابت لجميع الغازات.

٣- كيف تحقق قانون بويل عمليا؟

٤- كيف تبين بالتجربة أن ضغط الغاز يزداد بارتفاع درجة الحرارة عند ثبوت الحجم؟

٥- كيف تعين صفر كلفن ؟

٦- اشرح معنى صفر كلفن ودرجة الحرارة على تدريج كلفن.

٧- استنبط القانون العام للغازات رياضيا.

رابعا: تمـــــارين:

١- لتـر غـاز فى $10^{\circ}C$ رفـعت درجـة حـرارته وهو ثابت الضـغط إلى $293^{\circ}C$ فأوجد حجمه. (2 Liter)

٢- إناء مـقـفل به هواء فى درجـة $0^{\circ}C$ برد إلى $(-91^{\circ}C)$ فـصـار الضـغط به $40cmHg$ فكم يكون ضغط الهواء عند $0^{\circ}C$

(60 cm Hg)

٣- كمـيـة مـن الأكسچـين تشـغـل فـى $91^{\circ}C$ وتحـت ضـغـط $84\ cmHg$ $760\ cm^3$ فكم يكون حجـمـها فى درجـة $0^{\circ}C$ وتحـت ضـغـط $76\ cm\ Hg$ (فى معدل الضغط ودرجة الحرارة S.T.P) $(630\ cm^3)$

٤- دورق به هواء سـخن من $15^{\circ}C$ إلى $87^{\circ}C$ فكم نسبة حـجم مـا خـرج منه من الهواء إلى ما كان موجودا به ؟ (25%)

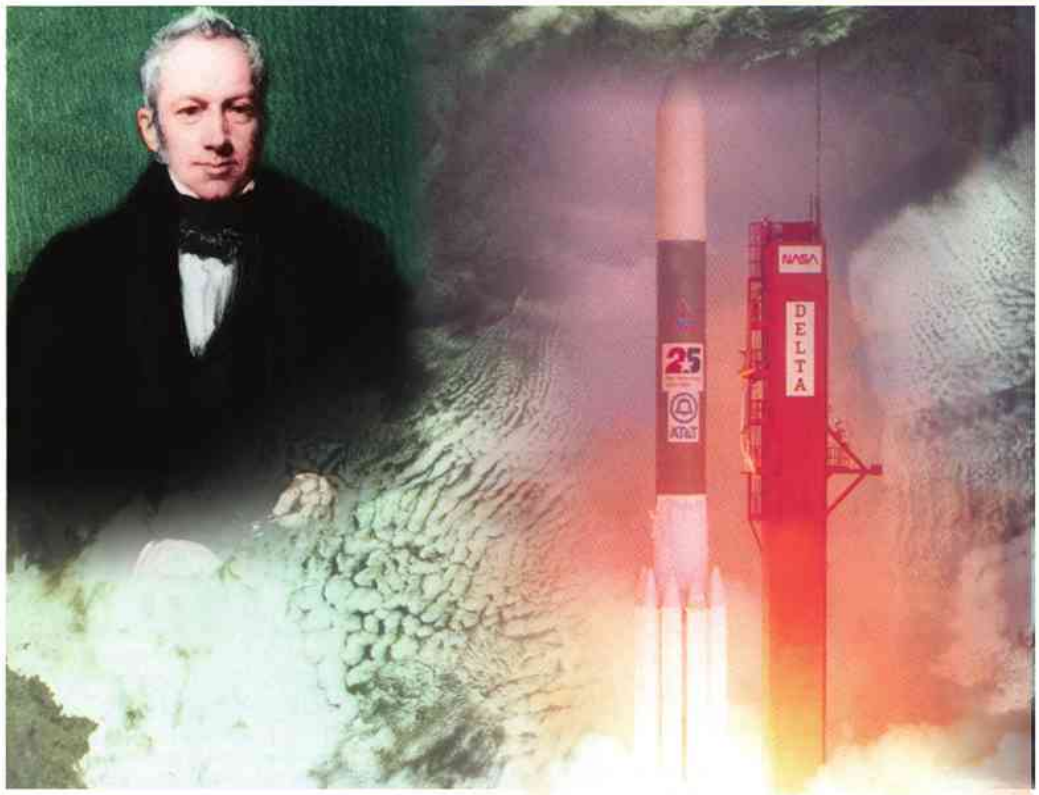
٥- إطار سـيـارة به هـواء ضـغـط $1.5\ Atm$ فى يوم كـانـت درجـة حـرارته $(-3^{\circ}C)$ احـسب ضغط الهواء فى الإطار عـندما ترتفع درجة الحـرارة إلى $51^{\circ}C$ بفرض ثبوت الحجم. (1.8 Atm)

٦- فقاعة من الهواء علي عمق $10.13m$ تحت سطح ماء عذب حجمها $28\ cm^3$ احسب حجمها قبل أن تصل إلى سطح الماء مباشرة بفرض أن درجة حرارة الماء عند العـمق المشـار إليـه هى $7^{\circ}C$ ودرجـة الحـرارة عند السطح $27^{\circ}C$ (اعـتـبـر عـجلة الجـاذبيـة الأرضـيـة $10ms^{-2}$ والضـغـط الجـوى $1.013\times10^5N/m^2$ وكثافة الماء $1000kg/m^3$).

$(60\ cm^3)$

الحـــرارة

الوحدة الثانية



الفصل السابع : نظرية الحركة للغازات

الفصل السابع
نظـرية الحـركة للغـازات

مقدمـــة :

لدراســة سلـوك الغـازات وقـوانينهـا المختلفـة يمكن الاسـتـعـانة بنظرية الحـركـة للغازات.

وتقوم هذه النظرية على عدة فروض منها:

١- يتكون الغاز من جزيئات يمكن اعتبارها بمثابة كرات صغيرة تامة المرونة وتتبع قوانين نيوتن للحركة.

٢- المسافات الجزيئية للغازات كبيرة نسبيا - لذلك يمكن إهمال حجم الجزيئات المكونة للغاز بالنسبة إلى الحجم الذى يشغله الغاز نفسه.

٣ - قوى التماسك الجزيئية بين جزيئات الغاز ضعيفة جداً نظراً لكبر المسافات الفاصلة بينها، ومن ثم يمكن إهمالها. وبالتالى فإن طاقة الوضع للجزيئات صفر، أى أن جزيئات الغاز لا تؤثر على بعضها البعض. ومن ثم، فإن متوسط المسافة التى يتحرك فيها الجزئ قبل التصادم مع جزىء آخر (متوسط المسار الحر) لا يتوقف على كتلة جزىء الغاز. أى أن هذه المسافة فى المتوسط واحدة لكل الغازات تحت نفس الظروف، ولهذا السبب فإن حجم معين فى ظروف S.T.P يحتوى على نفس العدد من الجزيئات بصرف النظر عن نوعية الغاز.

٤ - تتحرك جزيئات الغاز باستمرار حركة عشوائية بسبب تصادم بعضها ببعض وتصادمها مع جدران الإناء. وتتحرك الجزيئات بين التصادمات المتتالية فى خطوط مستقيمة.

٥ - تكون التصادمات الحادثة بين جزيئات الغاز تصادمات مرنة، بمعنى أن طاقة الحركة لجزيئات الغاز تظل ثابتة قبل وبعد التصادم.

٦- الغاز فى اتزان حرارى مع جدران الإناء.

عدد أفوجادرو:

تحتوى الكميات المختلفة من أى مادة على عدد كبير جدا من الذرات أو الجزيئات. ومهما كانت الكمية المأخوذة من المادة صغيرة جدا (مثلاً $1cm^3$ من الغاز) فإن عدد الذرات أو الجزيئات بها يكون هائلا. لذلك من المناسب أن يتم التعبير عن مثل هذه الأعداد الكبيرة للذرات أو الجزيئات المكونة للمادة منسوبة لوحدة محددة متفق عليها كالمول أو الجرام مول. وقد اتفق على أن يحتوى المول أو الجرام مول الواحد من أى مادة على عدد من الذرات أو الجزيئات مساويا لعدد الذرات الموجودة فى 12 gram من الكربون.

وقد بينت التجارب العملية أن 12 gram من الكربون تحتوى على $6.023x10^{23}$ ذرة كربون. وعرف هذا العدد باسم عدد أفوجاردو، نسبة إلى العالم الإيطالى أفوجاردو Avogadro.

وقد أدخل المول كوحدة أساسية لقياس كمية المادة ضمن الوحدات الأساسية المتفق عليها فى إطار النظام الدولى للقياس.

وجدير بالذكر أنه بالرغم من أن عدد أفوجادرو تم تحديده منسوبًا إلى عنصر الكربون، إلا أن مفهوم المول يمكن تطبيقه على أى تجمع من الجسيمات، بحيث يحتوى المول الواحد على عدد أفوجاردو من هذه الجسيمات.

أى أن المول من الحديد يحتوى على $6.023x10^{23}$ ذرة حديد، والمول من الماء يحتوى على $6.023x10^{23}$ جزئ ماء، وهكذا.

وبصفة عامة فإن كتلة المول الواحد من أي مادة يساوي عدديا الكتلة الذرية أو الجزيئية لهذه المادة معبرا عنها بالجرامات. فعلى سبيل المثال كتلة مول الكربون 12gram وكتلة مول الاكسجين 32gram وكتلة مول الماء 18gram

المـــــول

يعرف المول من أى مادة بأنه كمية المادة التى لها كتلة بالجرام تساوى الوزن الذرى أو الجزيئى للمادة. فمثلا غاز الأكسجين له وزن ذرى 16 أى أن الكتلة الجزيئية لمول من الأكسجين هى 32

قانون أفوجادرو:

ينص قانون أفوجادرو على أن:

«الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تحتوى على نفس العدد من الجزيئات إذا كانت تحت نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة» ومن ذلك يتضح ما يلى:

١- يشغل كل مول من أى غاز عند درجة حرارة 0°C وضغط 1 Atm حجماً 22.4 liters

٢- يحتوى كل مول من أى غاز على نفس العدد من الجزيئات وهو

$N_A = 6.023 \times 10^{23}$ molecules / mole

ولفهم ذلك نتصور أنه لدينا N_A جزىء أكسجين (الوزن الجزيئى للأكسجين هو 32 مضروباً فى كتلة ذرة الهيدروجين m_H). فإن كتلتها هى $(m_H \times 32 \times N_A)$ أى أن المقدار يساوى حاصل ضرب كمية ثابتة هى $(N_A\ m_H)$ مضروبة فى 32 ، وإذا كان لدينا N_A جزىء هيدروچين فإن كتلتها هى $2 \times (N_A\ m_H)$ وهكذا فإن 32 جرام أكسجين (مول أكسجين) و2 جرام هيدروجين (مول هيدروجين) لها نفس العدد من الجزيئات (N_A).

كذلك فعند نفس درجة الحرارة ونفس الضغط تكون المسافات الذرية أو الجزيئية واحدة فى المتوسط بسبب عشوائية حركة جزيئات الغاز وإنعدام قوة التجاذب بينهما أى إنعدام طاقة الوضع بالنسبة لها وإهمال حجم الجزىء نفسه وهى فروض الغاز المثالى. وبالتالى يكون لأى مول من أى غاز عند (S.T.P) نفس الحجم والذى وجد عملياً أن قيمته 22.4 Liters

كثافة الغـــاز:

بمعرفة عدد الجزيئات فى حجم معين من الغاز V_{ol} وليكن هذا العدد N، ومعرفة كتلة الجزئ الواحد m يمكن حساب كثافة الغاز ρ من العلاقة :

$$\rho = \frac{Nm}{V_{ol}}\ kg/m^3 \qquad (7 - 1)$$

ضغط الغاز:

سبق لنا دراسة خواص الغازات من حيث الضغط والحجم والحرارة، مما أدى إلى إستنتاج قوانين الغازات. هذه الدراسة تسمى الدراسة الماكروسكوبية Macroscopic، ولكن فى الواقع فإن الغاز يحتوى على عدد كبير من الجزيئات Molecules تتحرك حركة

عشوائية Random Motion، ويمكن فهم خواص الغازات بدراسة حركة هذه الجزيئات. وهذا ما يسمى الدراسة الميكروسكوبية Microscopic. وهذا ما أدى إلى النظرية الحركية للغازات **Kinetic Theory of Gases**. فى هذه الحالة فإننا نبدأ بالفروض الآتية:

١- الغاز يتكون من عدد كبير من الجزيئات تتحرك حركة عشوائية.

٢ - حجم كل جزىء صغيرا جدا بالنسبة لحجم الغاز.

٣ - التصادمات بين الجزيئات وجدران الإناء تصادمات مرنة، وبالتالى لا تفقد طاقة من خلالها.

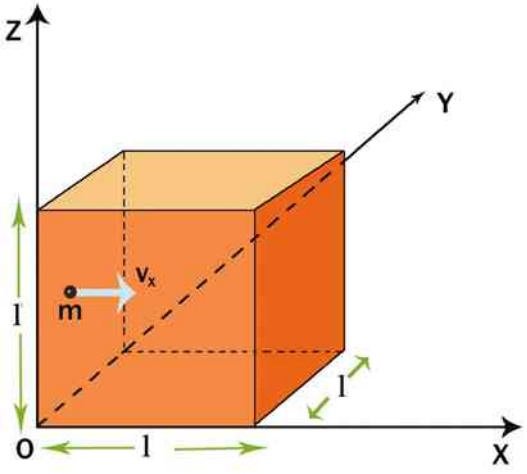
٤ - القوى بين الجزيئات مهملة، ما عدا عند التصادم. وبالتالى لا توجد أى طاقة وضع Potential Energy للجزيئات.

٥ - الجزيئات تخضع لقوانين نيوتن.

اعتبر جزيئا واحدا من هذه الجزيئات فى صندوق كما هو مبين فى شكل (٧-١). وليكن هذا الصندوق مكعبا طول ضلعه ع وكتلة الجزىء m ويتحرك بسرعة قيمتها المتوسطة v، ومركبة سرعته فى اتجاه x هى v_x. وسنركز الآن على الحركة فى اتجاه x فقط. الضغط الذى يؤثر به الغاز على جدران الصندوق مصدره تصادم جزىء الغاز مع هذه الجدران، والضغط P هو القوة لوحدة المساحة.

$$P = \frac{F}{A}$$

حيث $A = ع^2$ والقوة F هى التى يؤثر الجزىء بها على الحائط.



(شكل ٧ - ١)

مكعب به عدد من جزيئات الغاز

اعتبر كمية الحركة الخطية P_L

$$F = \frac{\Delta P_L}{\Delta t}$$

التغير فى كمية الحركة الخطية للجزىء ΔP_L هو الفرق بين كمية الحركة قبل التصادم وبعده. ولأن التصادم مرن فإن السرعة بعد التصادم هى $-v_x$ ولذلك

$$\Delta P_L = -mv_x - (mv_x) = -2mv_x$$

أما التغير فى كمية الحركة الذى ينتقل إلى الجدار $\Delta P_L'$ هو عكس التغير فى كمية حركة الجزيئات

$$\Delta P_L' = mv_x - (-mv_x) = 2mv_x$$

وتكون القوة التى يؤثر بها الجزىء على الجدار

$$F = \frac{\Delta P_L'}{\Delta t} = \frac{2mv_x}{\Delta t}$$

ويعبر الزمن Δt عن الفترة التى يرتطم فيها الجزىء مع الجدار.

ويعبر عن الدفع Impulse (I_{Imp}) الذى يعطيه الجزىء إلى الجدار

$$I_{Imp} = F\Delta t = \Delta P_L' = 2mv_x$$

ولأن الفترة الزمنية Δt صغيرة وغير معروفة فيمكن أخذ الزمن بين التصادمات كبديل للقياس. وفى هذه الحالة فإن القوة التى نستخدمها فى الحساب هى متوسط القوة F_{av} ونتخيلها مؤثرة طول الوقت بحيث:

$$F_{av}\, t_{av} = F\, \Delta t$$

حيث t_{av} هو الزمن المتوسط بين تصادمات الجزيئات مع الجدران

$$t_{av} = \frac{2l}{v_x}$$

حيث v_x متوسط السرعة فى اتجاه x والمسافة بين تصادمين مع نفس الجدار هى ع2 ولذلك فإن القوة التى يؤثر بها جزىء واحد على الجدار نتيجة تصادم واحد هى :

$$F_{av} = \frac{2mv_x}{2l/v_x} = \frac{mv_x^2}{l}$$

وبذلك يكون التغير الكلى في كمية الحركة فى الثانية لكل الجزيئات هو مجموع القوى التى تؤثر بها الجزيئات كلها على الجدار. فإذا كان عدد الجزيئات N

$$F_{av} = \frac{m}{l} N v_x^2$$

ولكن الضغط هو ع

$$P = \frac{F_{av}}{A}$$

$$P = \frac{F_{av}}{l^2} = \frac{mN}{l^3} v_x^2$$

$$PV_{ol} = Nmv_x^2$$

وبالتعميم فى الإتجاهات الثلاثة (X,Y,Z) نجد أن:

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

ولأن حركة الجزيئات متساوية الاحتمال فإن

$$v_x^2 = v_y^2 = v_z^2$$

حيث أنه لا توجد أفضلية لاتجاه عن اتجاه آخر. ولذلك

$$v^2 = 3v_x^2$$

$$v_x^2 = \frac{v^2}{3}$$

$$PV_{ol} = \frac{Nm}{3} v^2$$

$$P = \frac{1}{3} \frac{Nm}{V_{ol}} v^2 \qquad (7 - 2)$$

وبالرجوع إلى معادلة (7-1)

$$\therefore \quad P = \frac{1}{3} \rho v^2 \qquad (7 - 3)$$

حيث ρ هى كثافة الغاز وv^2 هى متوسط مربع سرعات جزيئات الغاز.

علاقة درجة الحرارة بطاقة الحركة (مفهوم درجة الحرارة):

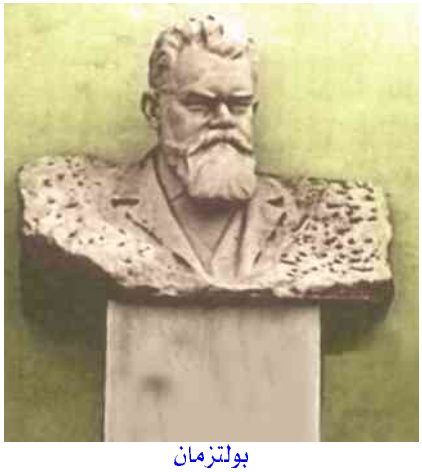
من المعادلة (7 - 2) بضرب البسط والمقام فى 2

$$PV_{ol} = \frac{2}{3} N \frac{mv^2}{2}$$

نلاحظ أن عدد الجزيئات فى الغاز N يساوى عدد المول n مضروبا فى عدد أفوجادرو N_A

$$N = nN_A$$

$$PV_{ol} = \frac{2}{3} nN_A \left(\frac{mv^2}{2} \right) \qquad (7 - 4)$$



بولتزمان

ومن قوانين الغاز المثالى فإن العلاقة الماكروسكوبية تعطى بالعلاقة:

$$\frac{PV_{ol}}{T} = nR \qquad (7-5)$$

$$PV_{ol} = nRT \qquad (7-6)$$

حيث R هو الثابت العام للغازات Universal Gas Constant ويساوى R= 8.314 J/mole ˚K

n هو عدد المولات moles فى المادة.

هذه العلاقة مبنية على المشاهدات العملية. أما العلاقة الميكروسكوبية فهى مبنية على الاستنتاج النظرى. ولذلك لابد من تساوى الكميتين فى الطرف الأيمن لكل من المعادلتين (7-4) و (7-6)

$$nRT = \frac{2}{3} nN_A \left(\frac{mv^2}{2}\right)$$

$$\frac{3}{2}\left(\frac{R}{N_A}\right) T = \frac{mv^2}{2} \qquad (7-7)$$

حيث يكون R/N_A ثابتاً لكل جزىء وهو ما يسمى ثابت بولتزمان Boltzmann Constant (k)

$$k = \frac{R}{N_A} = 1.38\times10^{-23}\ J/^{\circ}K \qquad (7-8)$$

ولذلك من معادلة (7-7) و(7-8)

$$\frac{3}{2} kT = \frac{1}{2} mv^2 \qquad (7-9)$$

هذه العلاقة تربط النظرية الماكروسكوبية للغاز بالنظرية الميكروسكوبية. يلاحظ أن درجة الحرارة T -وهى كمية ماكروسكوبية- تقيس متوسط كمية الحركة Kinetic Energy للجزىء (كمية ميكروسكوبية). كلما زادت درجة الحرارة زادت كمية الحركة. ويلاحظ أيضا أن لكل اتجاه كمية حركة $\frac{1}{2} kT$ ، ولذلك ففى ثلاثة أبعاد يكون لدينا $\frac{3}{2} kT$. وبالمناسبة فإن هذه العلاقة لا تنطبق فقط على جزيئات الغازات، ولكن أيضا علي الإلكترونات فى الفلزات، وعلى أى تجمع لجسيمات تتحرك حركة عشوائية. ولعلنا نظن أنه عند درجة حرارة صفر مطلق T= 0˚K فإن طاقة الحركة تساوي صفرا. وتكون السرعة صفرا، أي أنه عند الصفر المطلق كل شىء يتوقف. ولكن الحقيقة أنه لا يمكن أن نقول ذلك لأن عند درجة الصفر المطلق تتوقف صحة معادلات الغاز المثالى، ومن المعلوم أن الغازات التى نعرفها تتحول إلى سوائل فى درجات الحرارة المنخفضة. ومن ثم، فقد اكتشف أينشتين Einstein أنه حتى عند درجة حرارة الصفر المطلق فإنه توجد طاقة تسمي طاقة سكون. Rest Energy . ومن ثم فإن المعادلات السابقة لا تنطبق فى هذه الحالة.

أمثلة :

١- إذا كانت كثافة الهيدروچين فى S.T.P (0 °C وضغط 76cm Hg) هى $0.089 kg/m^3$ احسب جذر متوسط مربع سرعات جزيئاته. علما بأن كثافة الزئبق $13600\ kg/m^3$ وعجلة الجاذبية $9.81\ m/s^2$

الحـــل :

$$P = 0.76 \times 13600 \times 9.81$$

$$\rho = 0.089\ kg/m^3$$

$$P = \frac{1}{3}\rho v^2$$

$$\therefore\ v^2 = \frac{3P}{\rho}$$

$$v = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} = \sqrt{\frac{3 \times 0.76 \times 13600 \times 9.81}{0.089}}$$

$$v = 1.85 \times 10^3\ m/s$$

٢- إحسب عدد الجزيئات فى وحدة الحجوم من غاز الأكسچين فى S.T.P مستخدماً البيانات التالية :

جذر متوسط مربع سرعات جزيئات الأكسچين فى S.T.P $4.63 \times 10^2\ m/s$ وكتلة الجزئ الواحد منه هى $52.8 \times 10^{-27}\ kg$

الحـــل :

$$P = \frac{1}{3}\rho v^2$$

$$P = \frac{1}{3}\frac{Nm}{V_{ol}}v^2 = \frac{1}{3}N'mv^2$$

حيث $N' = \frac{N}{V_{ol}}$ عدد الجزيئات فى وحدة الحجوم

$$N' = \frac{3P}{mv^2} = \frac{3 \times 0.76 \times 13600 \times 9.81}{52.8 \times 10^{-27} \times (4.63 \times 10^2)^2}$$

$$= 2.699 \times 10^{25}\ Molecules/m^3$$

$$= 2.699 \times 10^{25}\ Molecules/m^3$$

٣- وضع غاز نتروجين فى إناء عند (S.T.P) احسب جذر متوسط مربع سرعات جزيئاته علماً بأن المول للنتروجين كتلته 0.028 kg (يشغل حجماً قدره 22.4 liter ، S.T.P) وعدد أفوجادرو 6.02×10^{23} وثابت بولتزمان 1.38×10^{-23} Joule/°K والضغط الجوى 1.013×10^5 N/m^2

الحـــل :

توجد طريقتان للحل :

الطريقة الأولى :

$$P_{0^oC} = \frac{1}{3} \rho_0 v_o^2 = \frac{1}{3} \frac{M}{(V_{ol})_{0^oC}} v_o^2$$

$$v_o = \sqrt{\frac{3P_{0^oC}}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{3P_{0^oC}(V_{ol})_{0^oC}}{M}}$$

حيث M كتلة المول من الغاز و $(V_{ol})_{0^oC}$ و P_{0^oC} هى قيم الحجم والضغط عند S.T.P

وρ_0 هى كثافة الغاز عند S.T.P و v_o هى متوسط السرعة فى S.T.P

$$v_o = \sqrt{\frac{3 \times 1.013 \times 10^5 \times 22.4 \times 10^{-3}}{0.028}} = 493 \text{ m/s}$$

الطريقة الثانيـة :

$$\frac{1}{2} m v_o^2 = \frac{3}{2} k T$$

$$\frac{1}{2} \frac{M}{N_A} v_o^2 = \frac{3}{2} kT$$

$$v_o = \sqrt{\frac{3kT N_A}{M}} = \sqrt{\frac{3 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 273 \times 6.02 \times 10^{23}}{0.028}}$$

= 493 m/s

تلخيص

- المول من مادة ما، يساوى عدد الكتلة الجزيئية لهذه المادة بالجرام.
- عدد أفوجادرو هو عدد الجزيئات الموجودة فى مول ويساوى 6.023×10^{23} Molecules
- تتعين كثافة الغاز من العلاقة :

$$\rho = \frac{Nm}{V_{ol}} kg/m^3$$

حيث N عدد جزيئات الغاز فى حجم معين V_{ol} , m كتلة الجزئ الواحد.

- يتعين ضغط الغاز فى إناء من العلاقة :

$$P = \frac{1}{3} \rho v^2$$

حيث ρ كثافة الغاز ، v^2 متوسط مربع سرعات الجزيئات.

- متوسط طاقة حركة جزئ من جزيئات الغاز تتناسب طردياً مع درجة حرارته بالكلفن والعلاقة بينهما هى :

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} k T$$

حيث k ثابت بولتزمان ويساوى 1.38×10^{-23} Joule/°K

أسـئلة وتمـارين

أولاً أسئلة المقال

١- ما هى أهم فروض نظرية الحركة فى الغازات؟

٢- مستخدماً فروض نظرية الحركة فى الغازات، بين كيف يمكن إثبات أن ضغط الغاز يتعين من العلاقة :

$$P=\frac{1}{3}\ \rho\ v^2$$

حيث P ضغط الغاز ، ρ كثافته، v^2 متوسط مربع سرعات جزيئاته.

٣- مستخدما العلاقة السابقة بيين كيف تستنتج تعبيرا لكل من :

(أ) جذر متوسط مربع سرعات جزئيات الغاز.

(ب) مفهوم درجة حرارة غاز.

(ج) متوسط طاقة حركة جسيم حر.

٤- إناء على شكل مكعب طول ضلعه ع به غاز كتلة كل جزئ m يتحرك هذا الجزئ فى اتجاه x بسرعة v_x ويصطدم مع جدار الإناء تصادماً مرناً.

(أ) ماذا تكون عليه كمية حركة الجزىء قبل التصادم؟

(ب) ماذا تكون عليه كمية حركة الجزىء بعد التصادم؟

(ج) ما هو التغير فى كمية حركة الجزئ بعد التصادم؟

(د) ما هى المسافة التى يقطعها الجزئ قبل التصادم التالى مع جدران الإناء؟

(هـ) ما هو عدد تصادمات الجزئ مع جدران الإناء فى الثانية؟

(و) ما هو التغير الكلى فى كمية حركة الجزئ الواحد فى وحدة الزمن نتيجة تصادماته المتتالية مع جدران الإناء؟

(ز) ما الذى يمثله المقدار السابق؟

(ح) إذا كان عدد جزيئات الغاز فى الإناء هو N فما هى القوة الكلية المؤثرة على السطح الداخلى للإناء؟

(ط) كيف يمكنك باستخدام البيانات السابقة حساب ضغط الغاز داخل الإناء؟

ثانياً المسائل :

١ -إناء به غاز هيدروچين فى S.T.P. احسب جذر متوسط مربع سرعات جزيئاته علماً بأن المول للهيدروچين 0.002 kg وعدد أفوجادرو 6.02×10^{23} والضغط الجوى = $1.013 \times 10^5 \ N/m^2$

(1844 m/s)

٢-ما هو التغير فى كمية حركة جزئ الهيدروچين فى المسألة السابقة فى كل تصادم عمودى على جدران الإناء؟

($1.224 \times 10^{-23} \ kgms^{-1}$)

٣-احسب متوسط طاقة الحركة لإلكترون حر عند 27°C ، علماً بأن ثابت بولتزمان يساوى $1.38 \times 10^{-23} J/°K$

($6.21 \times 10^{-21} \ J$)

٤- مستخدماً بيانات المسألة السابقة . احسب جذر متوسط مربع سرعات الالكترون الحر إذا كانت كتلته $9.1 \times 10^{-31} \ kg$

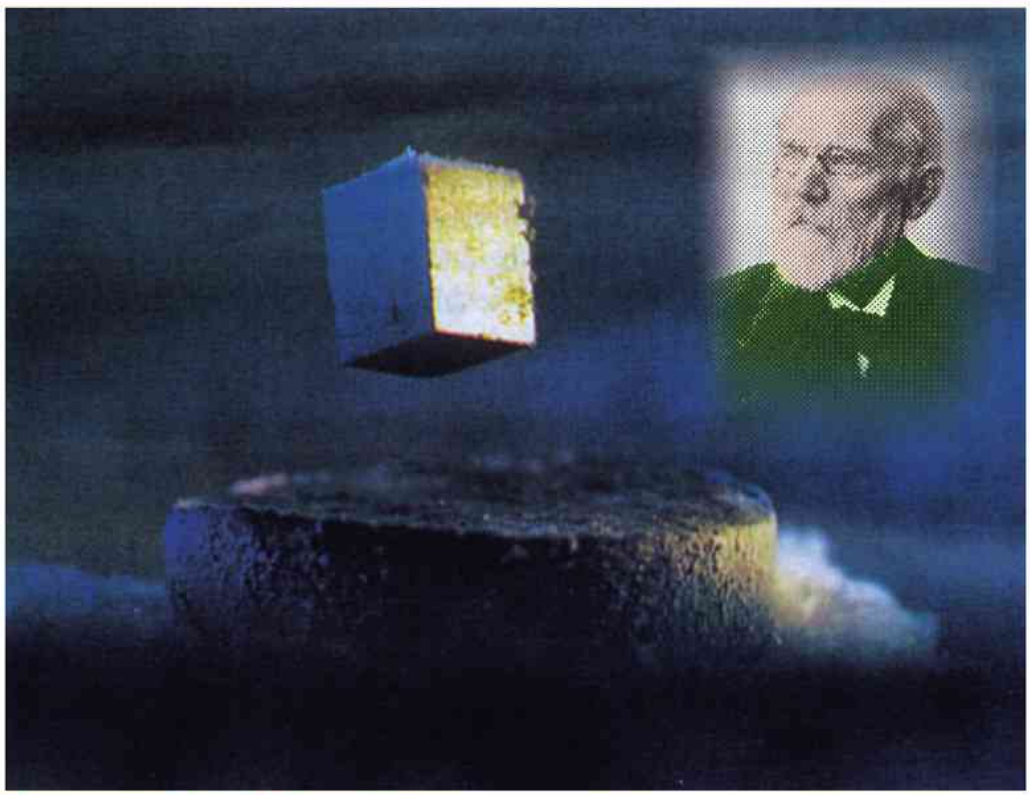
($1.168 \times 10^5 \ m/s$)

٥- أحسب نسبة جذر متوسط مربع سرعات جزئيات غاز ما عند درجة حرارة 6000°K (على سطح الشمس) وعند درجة حرارة 300°K (على سطح الأرض)

(4.472)

الحـــرارة

الوحدة الثانية



الفصل الثامن : فيزياء درجة الحرارة المنخفضة
(التبريد)

الفصل الثامن
فيزياء درجات الحرارة المنخفضة (التبريد)

مقدمـــة :

فيـزياء درجـات الحـرارة المنخـفـضـة أو علم التـبـريد Cryogenics هو العلم الذى يهـتم بدراسة درجات الحرارة المنخفضة التى تقترب من الصفر المطلق (-273°C) أى صفر كلفن. والمقياس المستخدم لدرجات الحرارة المنخفضة هو مقياس كلفن أو مقياس درجة الحرارة المطلقة والذى يرتكز على سلوك الغاز المثالى.

غاز فان درڤالز Van Der Waals :

فان درڤالز

من فـروض نظرية الحـركـة للغـازات التى بنى على أساسها قانون الغاز المثالى إهمال قوى التجاذب بين جزيئات الغاز وبعضها البعض، وأيضًا إهمال حجم جزيئات الغاز مقارنة بحجم الإناء.

تختلف خواص الغاز الحقيقى عن خواص الغاز المثالى كلما ازدادت كثافته. حيث يظهر تبادل تأثير Interaction الجزيئات المختلفة على بعضها البعض. ويسمى هذا التأثير المتبادل تأثير فاندرڤالز والذى يعبر عن قوى التجاذب بين الجزيئات، خلافا عن التفاعل الكيميائى بين الذرات الذى يؤدى إلى تكون الجزيئات. وهذا التجاذب جوهرى للغاية لأنه يؤدى إلى تكثف الغاز ليصبح سائلاً تحت تأثير الضغط العالى. فبزيادة الضغط يحدث تفاعل فان درڤالز بين جميع الجزيئات، حيث يتجاذب جزيئين نتيجة اقتراب بعضهما من بعض ثم يتتابع اجتذاب جزيئات أخرى إليهم وهكذا إلى أن يتم انتقال المادة إلى الحالة المكثفة سواء للحالة السائلة أو للحالة الجامدة.

وتفسر هذه الآلية كيفية إسالة الغازات ، مما أدى إلى امكانية الوصول إلى درجات الحرارة المنخفضة جداً و التى تقترب من الصفر المطلق.

آلية الحصول على درجات الحرارة المنخفضة :

يتم التوصل إلى درجات الحرارة المنخفضة جدًا بواسطة سحب الطاقة من المادة. ويتم هذا بطرق مختلفة. أبسطها أن تكون ملامسة لمادة أخرى مبردة مسبقًا عند درجة حرارة منخفضة جدًا. ويستخدم كل من الثلج العادى، أو الثلج الجاف (ثانى أكسيد الكربون المثلج)، أو الهواء السائل بنجاح تام لتبريد المواد. وقد تم الوصول إلى درجة $77^{\circ}K$ وهى درجة حرارة النيتروجين السائل. ثم أمكن بعد ذلك أيضًا الوصول إلى درجة $4.2^{\circ}K$ (وهى درجة حرارة الهليوم السائل). فمن مفهوم الحرارة الكامنة لتبخر السائل إلى الحالة الغازية أن الغاز المسال يسحب طاقة حرارية من المادة الملامسة له حتى يعود إلى طبيعته الغازية، وينتج عن ذلك انخفاض فى درجة حرارة المادة المراد تبريدها.

السيولة الفائقة Superfluidity

شكل (٨-١)
السيولة الفائقة

وتتميز بعض الغازات المسالة بقدرة فائقة على السيولة Superfluidity دون مقاومة تذكر . أى بدون احتكاك تقريبًا، عند درجة حرارة تقترب من الصفر المطلق ، حيث نجد أن سائل الهليوم فى درجات الحرارة المنخفضة يتمتع بخاصية السيولة المفرطة (أو فائقية السيولة)، أى تتلاشى لزوجته كلياً فى درجات الحرارة المنخفضة. كما أن سائل الهليوم فى درجات الحرارة المنخفضة يتميز بإمكانية الانسياب لأعلى - دون توقف - على جوانب أى وعاء يحتويه ، مهملاً قوى الاحتكاك والجاذبية (شكل ٨-١). ويتميز سائل الهليوم بحرارة نوعية منخفضة، وهو من أفضل الموصلات الحرارية .

قارورة ديوار Dewar's Flask :

وهو عبارة عن وعاء زجاجى أو معدنى مفرغ لمنع انتقال الحرارة. يستخدم لتخزين الغازات السائلة، حيث صمم لتقليل الفقد الحرارى بالتوصيل وبالحمل وبالإشعاع، لذلك يتكون من وعاء زجاجى من البيركس له جدران مزدوجة. وأسطح الجدارين من الداخل مطلية بالفضة لتقليل انتقال الحرارة بالإشعاع. والمسافة الفاصلة بين الجدارين مفرغة تماماً من الهواء لتقليل انتقال الحرارة بالتوصيل والحمل - مثل قارورة الثرموس - (شكل ٨-٢).

شكل (٨-٢)
قارورة ديوار

تستخدم قارورة ديوار لتخزين سوائل التبريد مثل سائل النيتروجين (نقطة غليانه $77^{\circ}K$) وسائل الأكسجين (نقطة غليانه $90^{\circ}K$) أما بالنسبة لسائل الهليوم (نقطة غليانه $4.2^{\circ}K$) ونظرًا لأن حرارته النوعية منخفضة- لذا يستخدم عند تخزينه إناءان من نوعية قارورة ديوار، بحيث يوضع أحدهما فى الآخر، وتملأ المسافة الفاصلة بين الإنائين بسائل النيتروجين، وذلك نظراً لانخفاض الحرارة النوعية ونقطة الغليان للهليوم السائل .

عمل الثلاجة:

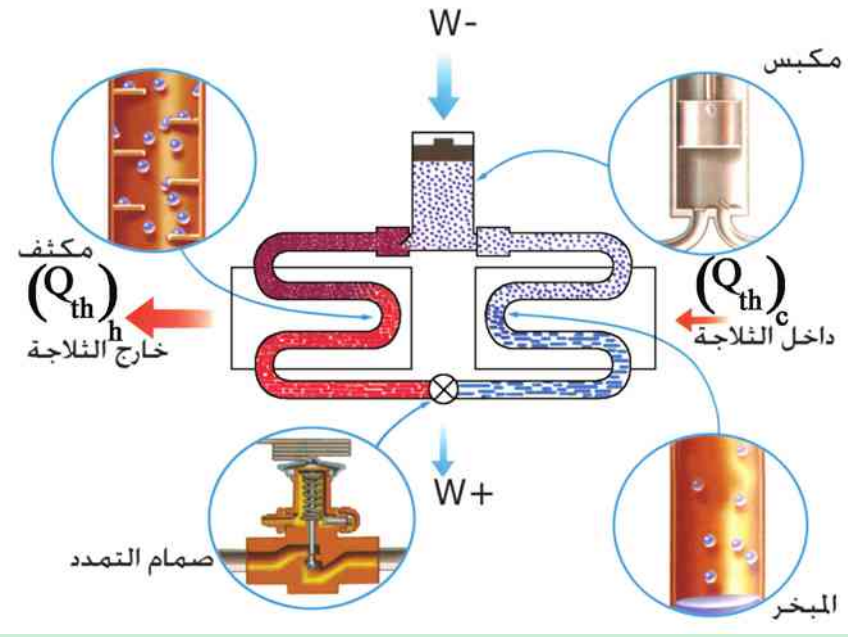
من قانون بقاء الطاقة إذا اكتسب غاز طاقة حرارية (Q_{th}) فإنها تتحول إلى صورتين للطاقة: الصورة الأولى هى زيادة طاقته الداخلية U، والتى تتمثل فى زيادة درجة حرارته. أما الصورة الثانية فهى الشغل الذى تبذله جزيئات الغاز W. وهناك نوعان من التبادل الحرارى. النوع الأول عند ثبوت درجة الحرارة مع الوسط المحيط به، أى ثبوت طاقته الداخلية ($\Delta U = 0$). فى هذه الحالة فإن الطاقة المكتسبة تتحول بالكامل إلى شغل ميكانيكى يبذله الغاز. ويعرف هذا بالعملية الايزوثرمية Isothermal . أما النوع الثانى فيتم بعزل الغاز عن الوسط المحيط به حراريًا فلا يكتسب أو يفقد كمية حرارة مع الوسط المحيط به. فى هذه الحالة فإن $Q_{th} = 0$. ولذلك فإن الشغل المبذول من الغاز يتم على حساب طاقته الداخلية. فإذا كان W موجبة (أى أن الغاز يبذل الشغل) فإن الطاقة الداخلية تنخفض ، أى أن ΔU تكون سالبة، أى أن الغاز يبرد. أما إذا بذل شغل على الغاز فإن W تكون سالبة. لذلك تزداد الطاقة الداخلية، فترتفع درجة حرارته. وتوصف هذه العملية حين تكون $Q_{th} = 0$ (W موجبة أو سالبة) بالعملية الأديباتية Adiabatic. وتعتبر الثلاجة من أهم التطبيقات لهاتين العمليتين والسائل المستخدم فى التبريد هو غاز الفريون المسال، او بدائله حيث درجة غليانه $-30^{\circ}C$).

معلومة إثرائية

آلية عمل الثلاجة

يستخدم فى عمل الثلاجة (شكل ٨-٣) سائل يسمى الفريون وهو سائل التبريد Refrigerant. فى البداية يكون الفريون سائلاً عند درجة حرارة منخفضة وتحت ضغط عال ويكون بذلك أبرد من الهواء داخل الثلاجة. يقوم هذا السائل بامتصاص الحرارة من داخل الثلاجة. ويسبب هذا التبادل الحرارى زيادة فى درجة حرارة سائل التبريد حتى يصل به إلى درجة الغليان، ويستمر السائل فى امتصاص الحرارة من داخل الثلاجة، بينما تثبت درجة

الغليان، ومن ثم فإن هذا التبادل الايزوثرمى Isothermal يستمر حتى يتم تبخير السائل بالكامل . وعندما يتحول السائل إلى الحالة الغازية يمر الغاز فى مكبس Compressor معزول حراريًا. فى هذه الحالة يبذل المكبس شغلاً على الغاز، بما يؤدى إلى نقص فى حجمه دون انتقال للحرارة . وهذا التبادل من نوع الاديباتى، حيث يزداد الضغط، وتزداد درجة الحرارة بزيادة الحرارة الداخلية للغاز (حيث $Q_{th} = 0$، و تكون W سالبة، لأن المكبس يبذل شغلاً على الغاز)، فتكون ΔU موجبة. وفى الخطوة التالية يمرر الغاز إلى جزء خارج جسم الثلاجة اسمه المكثف Condenser، حيث يحدث تبادل حرارى، ينتج عنه إخراج طاقة حرارية من الغاز إلى البيئة المحيطة والتى تكون فى درجة حرارة أقل، فيتكثف الغاز الذى يكون عند ضغط عال، ويتحول إلى سائل عند درجة حرارة ثابتة (Isothermal). يعاد السائل إلى الثلاجة مرة أخرى. وقبل أن يدخل إلى الفريزر (أو المجمد) يسمح لسائل التبريد بأن يتمدد خلال عمليه أديباتية من خلال صمام التمدد Expansion Valve. فى هذه الحالة يتمدد السائل، وينتشر من المنطقة ذات الضغط الأعلى إلى لمنطقة ذات الضغط المنخفض، ويزداد حجمه. وهنا يبذل شغلاً ضد الزنبرك فى الصمام. هذا الشغل يكون على حساب الطاقة الداخلية دون وجود طاقة خارجية أى أن



شكل (٨-٣)

عمل الثلاجة

$Q = 0$ أو تكون W موجبة وبالتالى ΔU سالبة ، أى تنقص الطاقة الداخلية وبالتالى درجة الحرارة.

وهكذا يعود سائل التبريد إلى نقطة البداية التى بدأنا منها هذه الدورة، وتتكرر العملية. والنتيجة النهائية أنه يتم خروج الطاقة الحرارية من داخل الثلاجة إلى المكثف خارج الثلاجة $(Q_{th})_{net}$ ، فتبرد الثلاجة عما يحيط بها من بيئة. ولابد بالطبع أن يكون هناك عزل حرارى للثلاجة. والملاحظ أن الطاقة الكهربية التى تحتاجها الثلاجة فى هذه الدورة هى الطاقة اللازمة لتشغيل المكبس. أما سائل التبريد فما هو إلا وسيط تظل طاقته الداخلية عبر دورة كاملة ثابتة أى أن $\Delta U_{net} = 0$، أى أن المكبس يعتبر مضخة حرارية Heat Pump تنقل الحرارة من داخل الثلاجة إلى خارجها عن طريق الشغل الذى يبذله المكبس W_{net}. وبالتالى فإن الطاقة الكهربية اللازمة لتشغيله E تساوى :

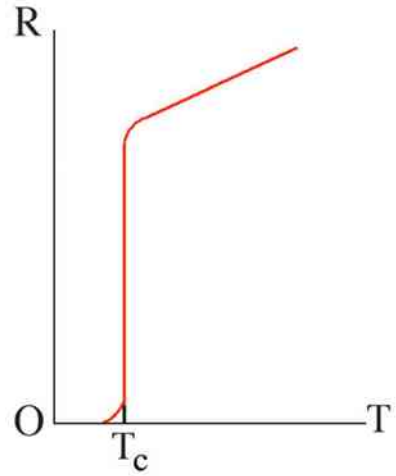
$$E = W_{net} = (Q_{th})_{net}$$

ظاهرة التوصيل الكهربى الفائق Superconductivity :

أونس

فى عام ١٩١١ -أى بعد اكتشاف إسالة الهليوم بثلاثة أعوام- اكتشف الفيزيائى كامير لنخ أونس Onnes عند قيامه بأبحاثه العلمية مع مساعديه ظاهرة التوصيل الكهربى الفائق لبعض الفلزات عند درجات الحرارة المنخفضة.

عندما تنخفض درجة الحرارة إلى بضع درجات فوق الصفر المطلق تكون التوصيلية الكهربية لبعض المعادن (البلاتين - الألومنيوم - الزنك - الرَّصاص - الزئبق وبعض المركبات المعدنية) -أى قابلية مرور التيار الكهربى خلالها- عالية جدًا دون وجود أى مقاومة كهربية، أى تفقد المادة كامل مقاومتها الداخلية لسريان الكهرباء تقريبًا. وهذا يتم عند درجة حرارة تبريد معينة تُسمى بدرجة الانتقال إلى حالة التوصيلية الكهربائية الفائقة Superconductivity (شكل ٨-٤) . وتُسمى المواد التى تتميز بهذه الصفة بالمواد فائقه التوصيل Superconductors.

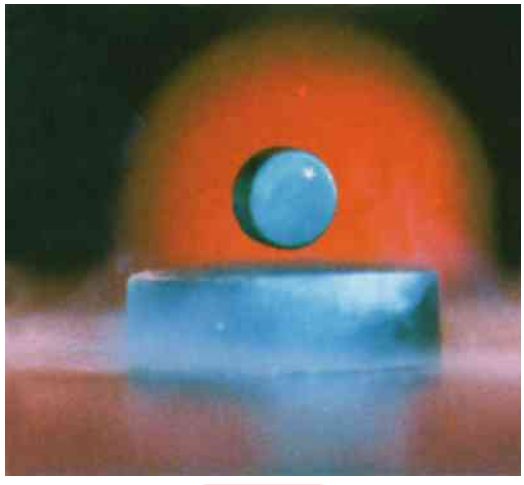


شكل (٨-٤)

درجة الحرارة الانتقالية

ومن المدهش أنه إذا انساب تيار فى حلقة من المواد فائقة التوصيل فإن هذا التيار يستمر حتى لو أزيل فرق الجهد الخارجى المسبب له ولعدة سنوات. أى أن هذا

التيار لا يواجه أية مقاومة. وبالتالى لا يسخن الفلز نتيجة مرور التيار فيه. أى أن هذا التيار يستمر دون طاقة تستهلك فى تعويض الطاقة الكهربية المصاحبة للتيار الكهربى والتى تتحول عادة إلى طاقة حرارية، ومن أهم الخصائص التى لوحظت على المواد المستخدمة فى الدوائر الكهربية والتى تتميز بالتوصيل الكهربى الفائق بأن لها مقدرة عالية لالتقاط أضعف الإشارات اللاسلكية. وهذا ما يتطلب وجوده فى الدوائر الكهربية بالأقمار الصناعية. ومن المدهش أنه إذا وضع مغناطيس دائم فوق قرص من مادة فائقة التوصيل فإن التيار فى المادة فائقة التوصيل يولد مجالاً مغناطيسيًا يتنافر دائما مع المغناطيس الدائم، بحيث يمكن أن يظل المغناطيس الدائم معلقًا فى الهواء. وهذا يسمى ظاهرة مايسنر Meissner Effect (شكل ٨-٥). والسبب فى ذلك أن المواد فائقة التوصيل من نوع المواد المغناطيسية التى ينعدم داخلها شدة المجال المغناطيسى (Diamagnetic). ولذلك فإن المجال المتولد داخلها نتيجة مجال مغناطيسى خارجى لابد أن يكون عكسه بحيث تكون المحصلة داخل المادة دائما صفراً. وقد أمكن استخدام هذه الظاهرة فى تصميم القطار فائق السرعة فى اليابان، إذ يحمل القطار ملفات من مادة فائقة التوصيل. وعندما يتحرك القطار فإنه يولد تيارا فى ملفات ثابتة، تولد مجالاً مغناطيسياً يتنافر مع المجال الأول فيرتفع القطار فوق القضبان Levitation بحوالى عدة سنتيمترات، مما يزيل الاحتكاك مع القضبان (شكل ٨-٦)، وبالتالى يزيد سرعته، وهو ما يسمى بالقطار الطائر حيث تبلغ سرعته 225km/h، وسيساعد اكتشاف ظاهرة التوصيل الفائقة لبعض المواد الجديدة عند درجات الحرارة العادية Room Temperature على التوسع فى مثل هذه التطبيقات، حتى لا تكون هناك ضرورة للتبريد. كما يمكن استخدام المواد فائقة التوصيل فى محطات توليد القوى الكهربية وفى خطوط نقل الكهرباء، بحيث ينعدم الفاقد فى الجهد نتيجة انعدام المقاومة.



شكل (٨-٥)

ظاهرة مايسنر

شكل (٨-٦)

القطار الطائر

معلومة إثرائية

التصوير بالرنين المغناطيسى

من أحدث طرق التشخيص الطبى استخدام التصوير بالرنين المغناطيسى Magnetic Resonance Imaging (MRI). وتتلخص هذه الطريقة باستخدام مجال مغناطيسى يؤثر على نواة ذرة الهيدروجين، و عن طريق استثارة هذه النواة بمجال مغناطيسى متردد تنطلق موجات تدل على تجمعات الماء فى الجسم (أى الهيدروجين). ومن ثم تتكون صورة داخلية للجسم (شكل ٨-٧). ويفيد ذلك فى تحديد الأورام.ويستخدم الموصل فائق التوصيل فى صنع المغناطيس اللازم فى هذه الأجهزة لانعدام طاقة الفقد الكهربية فى الموصلات فائقة التوصيل .

شكل (٨-٧)

صورة بالرنين المغناطيسى

تلخيص

- **فيزياء درجات الحرارة المنخفضة:**

هو العلم الذى يهتم بدراسة درجات الحرارة المنخفضة والتى تقترب من الصفر المطلق.

- **تأثير فان درفالز**

يعبر عن قوى التآثير المتبادل بين الجزيئات وهو يختلف عن التفاعل الكميائى بين الذرات والذى يؤدى إلى تكوين الجزيئات.

- **آلية الحصول على درجات الحرارة المنخفضة**

يتم التوصل إلى درجات الحرارة المنخفضة جداً وذلك بواسطة سحب الطاقة من المادة. وهذا يتم بطرق مختلفة منها طريقة التلامس بين المادة المراد تبريدها وبين المادة الأكثر برودة وهو الغاز السائل.

- **السيولة الفائقة**

تتميز بعض الغازات المسالة بقدرتها على التدفق دون مقاومة (احتكاك) عند درجة حرارة تقترب من الصفر المطلق. ويتميز سائل الهليوم بخاصية التدفق المفرط (تتلاشى لزوجته) عند درجات الحرارة المنخفضة. كما يتميز بإمكانية الإنسياب لأعلى على جوانب الوعاء الذى يحتويه. ويتميز أيضًا بانخفاض حرارته النوعية.

- **قارورة ديوار**

هو وعاء زجاجى أو معدنى مفرغ لمنع انتقال الحرارة، حيث يستخدم لتخزين الغازات السائلة مثل سائل النيتروچين وسائل الأكسجين وسائل الهليوم وغيرها.

- **ظاهرة التوصيل الكهربى الفائق**

تتميز بعض الفلزات بصفة التوصيلية الكهربية الفائقة (انعدام المقاومة الداخلية لسريان الكهرباء) عند درجات الحرارة المنخفضة.

- **ظاهرة مايسنر**

إذا وضع مغناطيس دائم فوق قرص من مادة فائقة التوصيل فإن التيار فى المادة فائقة التوصيل يولد مجالا مغناطيسيا يتنافر مع المغناطيس الدائم، بحيث يمكن أن يظل المغناطيس الدائم معلقاً فى الهواء.

أسـئلة وتمـارين

١- وضح مفهوم كل من :

(أ) تأثير ڤاندرڤالز.

(ب) ظواهر درجات الحرارة المنخفضة.

(جـ) السيولة فائقة لبعض الغازات المسالة.

(د) التوصيل الكهربى الفائق.

٢- علل لما يأتى:

(أ) استخدام إثنين من قارورة ديوار لتخزين سائل الهليوم.

(ب) المسافة الفاصلة بين الجدارين بقارورة ديوار تكون مفرغة الهواء.

(جـ) يتـميـز سائل الهليوم بإمكانية الإنسياب إلى أعلى دون توقف على جوانب الجدار للإناء الموضوع فيه.

(د) أمكن تصميم قطار له سرعة عالية (225 km/hr)

(هـ) يبقى المغناطيس معلقاً فوق مادة فائقة التوصيل مهما انعكس قطباه؟

٣- اذكر أهم التطبيقات لكل مما يأتى:

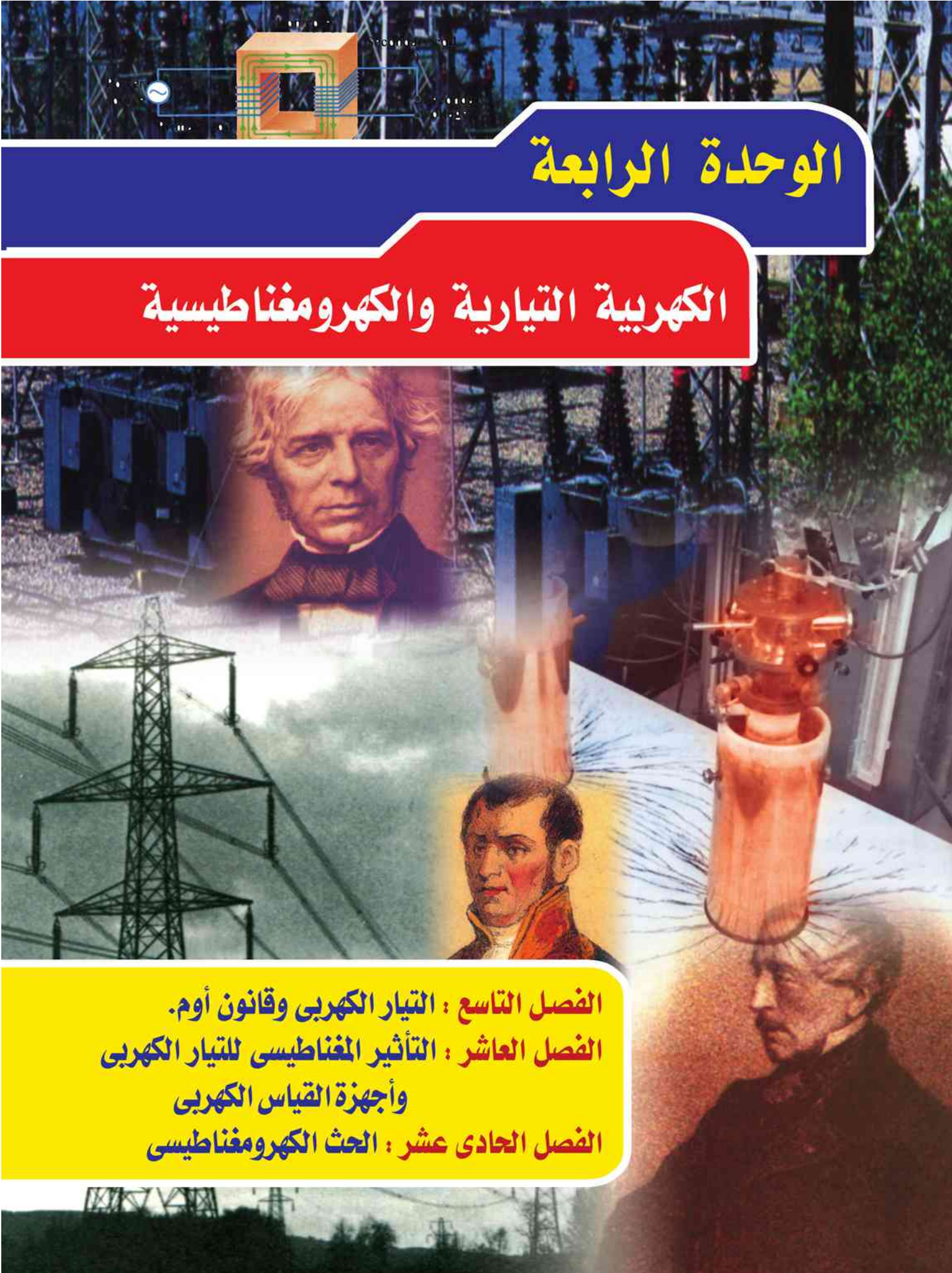
(أ) قارورة ديوار.

(ب) المواد فائقة التوصيل.

٤- وضح الفرق بين كل من:

(أ) التفاعل الكيميائى وتفاعل فان درڤالز.

(ب) سائل الهليوم وسائل النيتروچين.

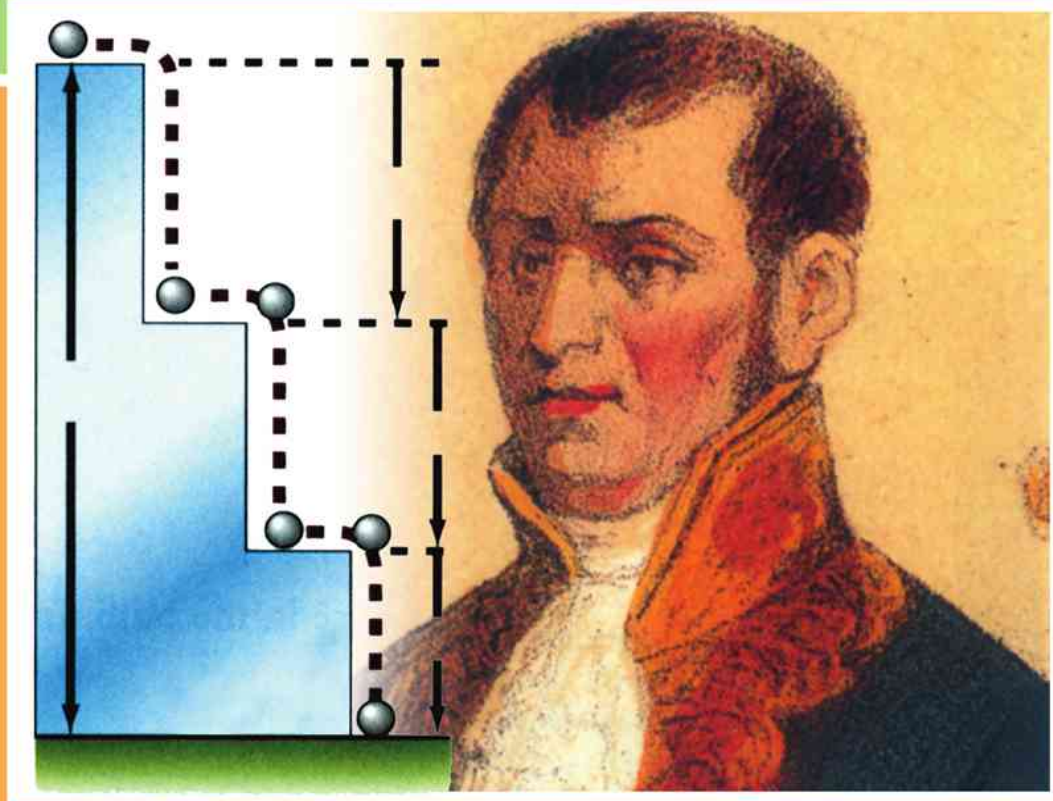


الوحدة الرابعة

الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية

الفصل التاسع : التيار الكهربى وقانون أوم.
الفصل العاشر : التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى وأجهزة القياس الكهربى
الفصل الحادى عشر : الحث الكهرومغناطيسى

الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية



الوحدة الرابعة

الفصل التاسع : التيار الكهربى وقانون أوم

الوحدة الرابعة
الكهربية التيارية

الفصل التاسع
التيار الكهربى وقانون أوم

مقدمة :

مما سبق دراسته فى السنوات السابقة نعلم الآتى:

١- التيار الكهربى هو فيض من الشحنات الكهربية خلال موصل.

٢- شدة التيار الكهربى تعطى بالعلاقة $I = \frac{Q}{t}$ ، حيث أن Q هى كمية الكهربية مقاسة بالكولوم و t هى الزمن بالثانية، و I هى شدة التيار، وتقاس بالأمبير = كولوم / ثانية.

$A = C/s$

أوم

٣- فرق الجهد بين نقطتين: $V=\frac{W}{Q}$

حيث أن W هو الشغل المبذول مقدرا بالجول، V هو فرق الجهد مقاساً بالفولت $V = J/C$

٤- القوة الدافعة الكهربية لمصدر: وهى الشغل الكلى اللازم لنقل وحدة الشحنات (الكولوم) خلال الدائرة (خارج وداخل المصدر) ولها نفس وحدة فرق الجهد (الفولت).

٥ - المقاومة (R) هى ممانعة الموصل لمرور التيار الكهربى مقاسة بالأوم، وتعتمد عند ثبوت درجة الحرارة على كل من: طول الموصل - مساحة مقطعه - نوع مادته ، وتعطى بالعلاقة $R = \rho_e$ ع/A، حيث ع طول الموصل

أمبير

بالمتر و A مساحة مقطعه بالمتر المربع، و ρ_e هى المقاومة النوعية وتقاس Ωm

التوصيلية الكهربية لمادة (معامل التوصيل الكهربى لها) σ هى مقلوب المقاومة النوعية $\boxed{\sigma=\frac{1}{\rho_e}}$ وتقاس بوحدة $\Omega^{-1}\ m^{-1}$

٦ - قانون أوم Ohm's Law:

تتناسب شدة التيار المار فى الموصل تناسبا طرديا مع فرق الجهد بين طرفيه عند ثبوت درجة الحرارة $\boxed{V = IR}$ I

٧- اصطلح أن يكون اتجاه التيار الكهربى من الطرف الموجب إلى الطرف السالب فى دائرة كهربية مغلقة خارج المصدر، ويسمى هذا الاتجاه التقليدى للتيار الكهربى.وهو عكس اتجاه حركة الالكترونات.

توصيل المقاومات

أولاً : توصيل المقاومات على التوالى :

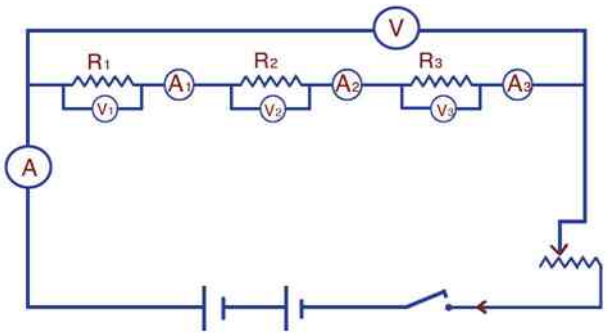
الغرض من توصيل المقاومات على التوالى هو الحصول على مقاومة كبيرة من مجموعة من المقاومات ، حيث توصل هذه المجموعة بالكيفية المبينة فى (الشكل ٩-١) لتكون بمثابة ممر متصل للتيار الكهربى.

(شكل ٩-١)

توصيل المقاومات على التوالى

لايجاد المقاومة المكافئة لمجموعة المقاومات المتصلة على التوالى، تدمج المجموعة فى دائرة كهربية تشمل بطارية وأميتر وريوستات ومفتاح موصلة جميعها على التوالى كما فى (الشكل ٩-٢). وبغلق الدائرة الكهربية وتعديل مقاومة الريوستات، يمكن إمرار تيار كهربى مناسب شدته I أمبير. وعندئذ يقاس فرق الجهد بين طرفى المقاومة R_1، وليكن V_1 ، وفرق الجهد بين طرفى المقاومة R_2 وليكن V_2، وفرق الجهد بين طرفى المقاومة R_3 وليكن V_3 ، ثم يقاس فرق الجهد الكلى بين طرفى المجموعة وليكن V. ونلاحظ أنه

يساوى مجموع فروق الجهد على المقاومات بالدائرة ويسمى هذا قانون كيرشوف Kirchhoff's law،



(شكل ٩-٢)

قياس المقاومة المكافئة في حالة التوصيل على التوالى

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad \text{أى أن}$$

$$\because V = IR \quad \text{لكن}$$

$$V_1 = IR_1$$

$$V_2 = IR_2$$

$$V_3 = IR_3$$

بالتعويض ينتج أن :

$$IR' = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

ومنها :

$$\boxed{R' = R_1 + R_2 + R_3} \qquad (9\text{-}1)$$

المقاومة المكافئة R' لمجموعة من المقاومات المتصلة على التوالى تساوى مجموع هذه المقاومات.

يلاحظ أن المقاومة الكبيرة هى التي تحدد المقاومة الكلية في حالة التوصيل علي التوالي.

وعندما تكون المقاومات المكونة للمجموعة المتصلة على التوالى متساوية، وقيمة كل منها r وعددها N يكون :

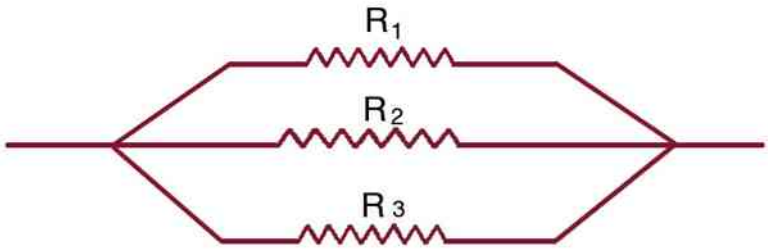
$$\boxed{R' = Nr} \qquad (9\text{-}2)$$

مما سبق نرى أنه إذا أردنا الحصول على مقاومة كبيرة من مجموعة من المقاومات الصغيرة توصل هذه المجموعة معا على التوالى.

ثانياً : توصيل المقاومات على التوازى :

الغرض من توصيل المقاومات على التوازى هو الحصول على مقاومة صغيرة من مجموعة من المقاومات الكبيرة ، حيث توصل هذه المجموعة بالكيفية المبينة بالشكل (٩ - ٣).

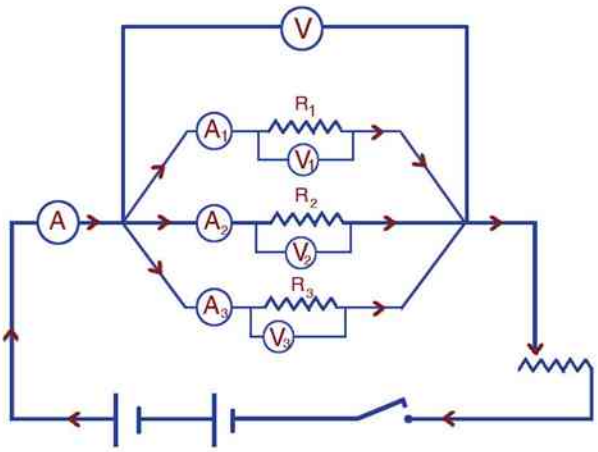
لإيجاد المقاومة المكافئة لمجموعة المقاومات المتصلة على التوازى، تدمج المجموعة فى دائرة كهربية تشمل بطارية وأميتر وريوستات موصلة معا كما فى الشكل (٩-٤).



شكل (٩-٣)

توصيل المقاومات علي التوازي

وبغلق الدائرة الكهربية وتعديل مقاومة الريوستات، يمكن إمرار تيار مناسب فى الدائرة الرئيسية شدته يمكن قياسها بالأميتر ولتكن I أمبير. عندئذ يعين فرق الجهد الكلى بين طرفى مجموعة المقاومات المتصلة على التوازى بواسطة فولتميتر وليكن V فولت. وتقاس بعدئذ شدةالتيار المار فى



شكل (٩-٤)

قياس المقاومة المكافئة فى حالة التوصيل على التوازي

المقاومة R_1 وليكن I_1، وشدة التيار المار فى المقاومة R_2 وليكن I_2، وشدة التيار المار فى المقاومة R_3 وليكن I_3 .

فى حالة التوصيل على التوازى فإن التيار يتحدد بالمقاومة الأصغر، حيث أنه إذا اتصلت مقاومتان على التوازى، فإن المقاومة النهائية تتحدد بالمقاومة الأصغر، أى أن الجزء الاكبر من التيار سيمر فى المقاومة الأصغر.

تشبه هذه الظاهرة سريان الماء فى الأنابيب ، فالانبوبة الأصغر هى التى تحدد تدفق الماء فى حالة التوصيل على التوالى (الأنبوبة الاضيق اكبر فى المقاومة) . أما فى حالة التوصيل على التوازى فإن الأنبوبة الاوسع (الأقل فى المقاومة) هى التى يسرى فيها الجزء الاكبر من تيار الماء.

يلاحظ أن:

$$I = \frac{V}{R'} \quad , \quad I_1 = \frac{V}{R_1} \quad , \quad I_2 = \frac{V}{R_2} \quad , \quad I_3 = \frac{V}{R_3}$$

حيث R' هى المقاومة المكافئة وأن V هى فرق الجهد علي المقاومات المتصلة على التوازى . ولأن التيار الكلى I هو مجموع التيارات $I_1 + I_2 + I_3$ إذاً

$$\frac{V}{R'} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

ومنها :

$$\boxed{\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \qquad (9 - 3)$$

أى أن : مقلوب المقاومة المكافئة R' لمجموعة من المقاومات متصلة على التوازى يساوى مجموع مقلوبات المقاومات.

وفى حالة مقاومتين متصلتين على التوازى تكون المقاومة المكافئه R'

$$\boxed{R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} \qquad (9 - 4)$$

وعندما تكون المقاومات المكونة للمجموعة المتصلة على التوازى متساوية وقيمة كل منها r وعددها N يكون :

$$\frac{1}{R'} = \frac{N}{r}$$

$$\boxed{R' = \frac{r}{N}} \qquad (9 - 5)$$

ولذلك إذا أردنا الحصول على مقاومة صغيرة من مجموعة من المقاومات الكبيرة توصل هذه المجموعة من المقاومات على التوازى.

قانون أوم للدائرة المغلقة :

نعلم أن القوة الدافعة الكهربية لعمود e.m.f هى الشغل الكلى المبذول خارج وداخل العمود لنقل كمية من الكهرباء قدرها كولوم واحد فى الدائرة الكهربية .

لذلك إذا رمزنا للقوة الدافعة الكهربية للعمود (البطارية) بالرمز V_B ولشدة التيار الكلى فى الدائرة بالرمز I وللمقاومة الخارجية بالرمز R وللمقاومة الداخلية للعمود بالرمز r فإن :

$$V_B = IR + Ir$$

$$V_B = I\,(R + r)$$

ومنها

$$\boxed{I = \frac{V_B}{R + r}} \qquad (9 - 6)$$

وتعرف العلاقة السابقة باسم قانون أوم للدائرة المغلقة حيث تكون :-

شدة التيار الكهربى فى دائرة = القوة الدافعة الكهربية الكلية / المقاومة الكلية للدائرة

العلاقة بين القوة الدافعة الكهربية لعمود وفرق الجهد بين قطبيه :

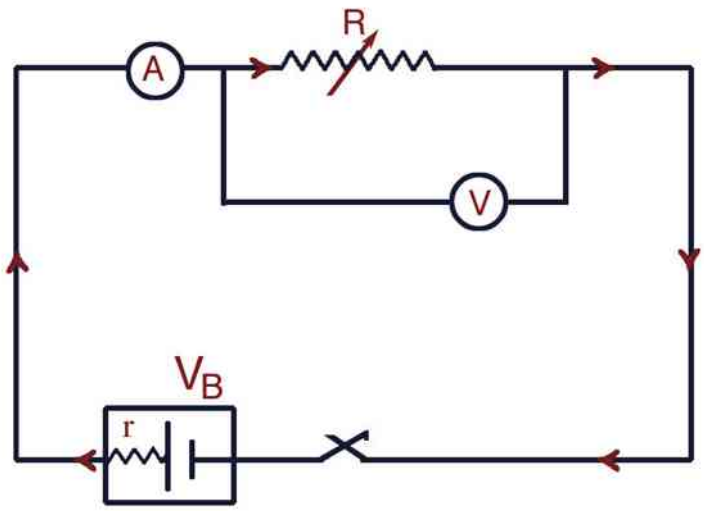
من شكل (٩-٥) نجد أن:

$$\boxed{V = V_B - Ir}$$

ومن العلاقة الأخيرة نتبين أنه مع إنقاص شدة التيار تدريجيا فى الدائرة الموضحة

فى الشكل (٩-٥) بزيادة المقاومة الخارجية R يزداد فرق الجهد بين قطبى العمود.

وعندما تصبح شدة التيار صغيرة جداً الى حد يمكن معه إهمال الحد الثانى من الطرف الأيمن فى المعادلة السابقة، يصبح فرق الجهد بين قطبى العمود مساويا تقريباً للقوة الدافعة الكهربية له أى أن : القوة الدافعة الكهربية لعمود : هى فرق الجهد بين قطبيه فى حالة عدم مرور تيار كهربى فى دائرته.



شكل (٩-٥)

علاقة جهد البطارية بالقوة الدافعة الكهربية لها

امثلة :

(١) وصلت المقاومات الثلاث 25Ω و 70Ω و 85Ω على التوالى مع بطارية القوة الدافعة الكهربية لها 45V بإهمال المقاومة الداخلية للبطارية احسب :

(أ) شدة التيار الكهربى المار فى كل من المقاومات الثلاث.

(ب) فرق الجهد على كل مقاومة.

الحل :

تتعين المقاومة الكلية للدائرة من :

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 25 + 70 + 85 = 180\ \Omega$$

وتتعين شدة التيار الكلى فى الدائرة من قانون أوم للدائرة المغلقة

$$I = \frac{V_B}{R} = \frac{45}{180} = 0.25\ A$$

ونظراً لأن المقاومات الثلاث موصلة على التوالى يكون التيار المار فيها ثابتا، أى أن شدة التيار المار فى كل مقاومة هو 0.25A

فرق الجهد على المقاومة الأولى هو :

$$V_1 = IR_1 = 0.25 \times 25 = 6.25V$$

وفرق الجهد على المقاومة الثانية هو :

$$V_2 = IR_2 = 0.25 \times 70 = 17.5V$$

وفرق الجهد على المقاومة الثالثة هو :

$$V_3 = IR_3 = 0.25 \times 85 = 21.25V$$

(٢) إذا وصلت المقاومات الثلاث فى المثال السابق على التوازى مع نفس المصدر فاحسب :

(أ) شدة التيار المار فى كل مقاومة.

(ب) المقاومة الكلية.

(جـ) شدة التيار الكلى.

الحـــــل :

نظرا لأن المقاومات الثلاث متصلة على التوازى، يكون فرق الجهد على كل مقاومة (مع إهمال المقاومة الداخلية للبطارية) هو 45V

وتتعين شدة التيار فى كل مقاومة على حدة من :

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{45}{25} = 1.8\ A$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{45}{70} = 0.643\ A$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{45}{85} = 0.529\ A$$

وتتعين المقاومة الكلية من :

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{25} + \frac{1}{70} + \frac{1}{85}$$

$$R' = 15.14\ \Omega$$

وتتعين شدة التيار الكلى من :

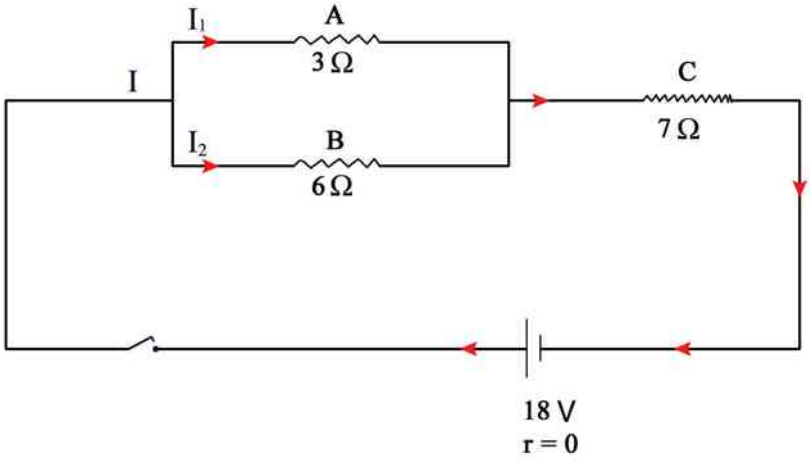
$$I = \frac{V}{R'} = \frac{45}{15.14} = 2.972\ A$$

أى أن شدة التيارالكلى تساوى 2.972 A

ويمكن حساب شدة التيار الكلى بجمع I_1 , I_2 , I_3 وعندئذ يكون :

$$I = 1.8 + 0.643 + 0.529 = 2.972\ A$$

وهى نفس النتيجة السابقة.



(٣) فى الشكل السابق وصلت المقاومتان B وA معا على التوازى ثم وصلت المجموعة على التوالى مع مقاومة ثالثة C وبطارية قوتها الدافعة الكهربية 18V ، فإذا كانت المقاومات C، B، A هى 3Ω و 6Ω و7Ω على الترتيب، فاحسب مع إهمال المقاومة الداخلية للبطارية :

أولا : المقاومة الكلية.

ثانياً : شدة التيار المار فى الدائرة.

ثالثاً : شدة التيار المار فى كل من المقاومتين B و A

الحل :

نحسب المقاومة المكافئة للمقاومتين B و A المتصلتين على التوازى من العلاقة :

$$R' = \frac{R_1\ R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2\ \Omega$$

ثم نحسب المقاومة المكافئة الكلية للمقاومات الثلاث من العلاقة :

$$R = R' + R_3 = 2 + 7 = 9\ \Omega$$

وتتعين شدة التيار الكلى من العلاقة :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{18}{9} = 2\ A$$

ولحساب شدة التيار فى كل من المقاومتين B و A نحسب أولا فرق الجهد بينهما من :

$$V' = IR' = 2 \times 2 = 4V$$

$$\therefore\ I_1 = \frac{V'}{R_1} = \frac{4}{3} = 1.333\ A$$

$$\therefore\ I_2 = \frac{V'}{R_2} = \frac{4}{6} = 0.667\ A$$

(٤) عمود كهربى قوتة الدافعة الكهربية 2 V وصل فى دائرة كهربية. فإذا كانت المقاومة الداخلية له 0.1 Ω والمقاومة الخارجية 3.9 Ω فاحسب شدة التيار الكلى فى دائرته.

الحـــــل

$$I = \frac{V_B}{R + r} = \frac{2}{3.9 + 0.1} = 0.5\ A$$

تلخيص

- **القوانين الهامة :**

- إذا مرت كمية كهربية Q خلال مقطع فى دائرة فى زمن t تكون شدة التيار.

$$I = \frac{Q}{t}$$

- إذا كان الشغل المبذول لنقل كمية من الكهربية Q (Coulomb) هو W(Joule) يكون الفرق فى الجهد (Volt).

$$V = \frac{W}{Q}$$

- قانون أوم : إذا كان فرق الجهد بين طرفى موصل V(V) ويمر به تيار I(A) فإن :

$$R = \frac{V}{I} \quad \Omega$$

حيث R مقاومة الموصل (المقاومة).

- المقاومة النوعية (Ωm)

$$\rho_e = \frac{RA}{ع}$$

عند ثبوت درجة الحرارة

حيث $R(\Omega)$ مقاومة موصل مساحة مقطعة $A(m^2)$ وطوله (m) ع .

- التوصيلية الكهربية $(\Omega^{-1}m^{-1})$

$$\sigma = \frac{1}{\rho_e}$$

- قانون توصيل المقاومات على التوالى

$$R' = R_1 + R_2 + R_3 + ...$$

- وإذا كانت جميع المقاومات متساوية وقيمة كل منها r فإن $R' = Nr$

حيث N عدد المقاومات.

● قانون التوصيل على التوازى

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

● عندما تكون المقاومات المكونة للمجموعة متساوية وقيمة كل منها r وعددها N فإن

$$R' = \frac{r}{N}$$

● قانون أوم للدائرة المغلقة :

شدة التيار المار فى دائرة مغلقة

$$I = \frac{V_B}{R + r}$$

حيث V_B القوة الدافعة الكهربية للعمود، r مقاومته الداخلية، R المقاومة الخارجية.

أسئلة وتمارين

أولا : أكمل :

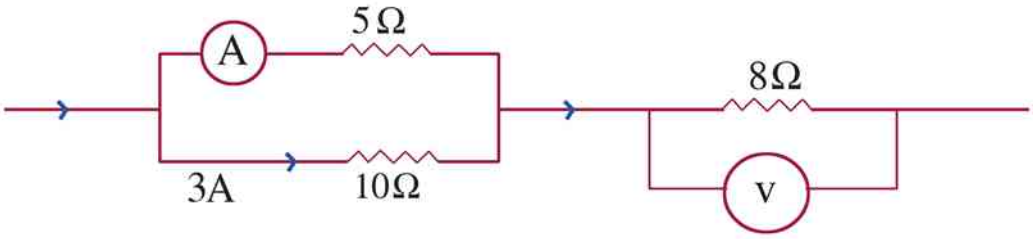
١- عندما يمر تيار كهربى شدته 3A عبر نقطة من دائرة كهربية، فإن الشحنة الكهربية التى تمر خلال دقيقة تساوى.....

٢- فرق الجهد بالفولت المطلوب لكى يمر تيار مقداره 3A خلال مقاومة 6Ω تساوى .....

٣- إذا كان فرق الجهد بين طرفى مقاومة 2Ω يساوى 6V فإن شدة التيار التى تمر فيها تساوى.....

٤- إذا وصلت مقاومتان متساويتان كل منهما تساوى 1Ω على التوالى، فإن المقاومة المكافئة تساوى..... أما إذا تم التوصيل على التوازى فإن المقاومة المكافئة فى هذه الحالة تساوى.....

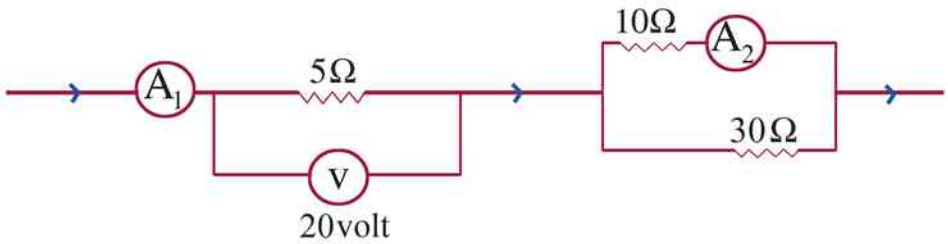
٥ - القوة الدافعة الكهربية تقاس بنفس وحدات قياس.....



٦ - فى الدائرة الموضحة:

أ - قراءة الأميتر تساوى .....

ب - قراءة الفولتميتر تساوى.....



٧ - فى الدائرة الموضحة:

أ - قراءة الأميتر A_1 تساوى.....

ب - قراءة الأميتر A_2 تساوى.....

ثانياً اختر الإجابة الصحيحة:

وصلت أربع لمبات مقاومة كل منها 6Ω على التوازى ثم وصلت المجموعة ببطارية $12V$ ذات مقاومة داخلية مهملة :

١- التيار المار بالبطارية يساوى :

(أ) $8A$ (ب) $6A$ (جـ) $4A$

(د) $2A$ (هـ) $0A$

٢- الشحنة الكلية التى تترك البطارية فى $10s$ تكون .....

(أ) $80C$ (ب) $60C$ (جـ) $40C$

(د) $20C$ (هـ) صفر

٣- شدة التيار المار بكل لمبة يساوى :

(أ) $\frac{2}{3}A$ (ب) $8A$ (جـ) $\frac{3}{2}A$

(د) $1A$ (هـ) $2A$

٤- فرق الجهد بين طرفى كل لمبة يساوى :

(أ) $3V$ (ب) $12V$ (جـ) $6V$

(د) $2V$ (هـ) $4V$

٥- المقاومة الكلية للمبات الأربع تساوى :

(أ) $\frac{2}{3}\Omega$ (ب) $24\ \Omega$ (جـ) $\frac{3}{2}\Omega$

(د) $6\ \Omega$ (هـ) $12\ \Omega$

٦- إذا وصلت اللمبات الأربع على التوالى تكون مقاومتها الكلية :

(أ) $\frac{2}{3}\Omega$ (ب) $24\ \Omega$ (جـ) $\frac{3}{2}\Omega$

(د) $6\ \Omega$ (هـ) $12\ \Omega$

ثالثاً : اســـــئلة المقال :

١- اشرح كيف يمكن اثبات أن المقاومة المكافئة لثلاث مقاومات متصلة معا على التوالى تتعين من العلاقة : $R' = R_1 + R_2 + R_3$

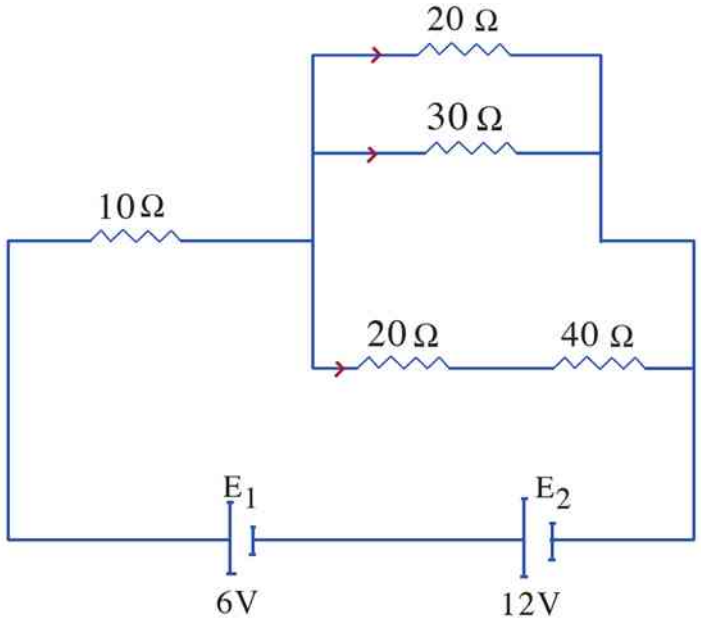
٢- اشرح كيف تثبت أن مقلوب المقاومة المكافئة لثلاث مقاومات متصلة على التوازى تساوى مجموع مقلوب المقاومات الثلاث.

٣- ما هى العوامل التى تتوقف عليها مقاومة موصل؟

رابعاً : تمـــــارين :

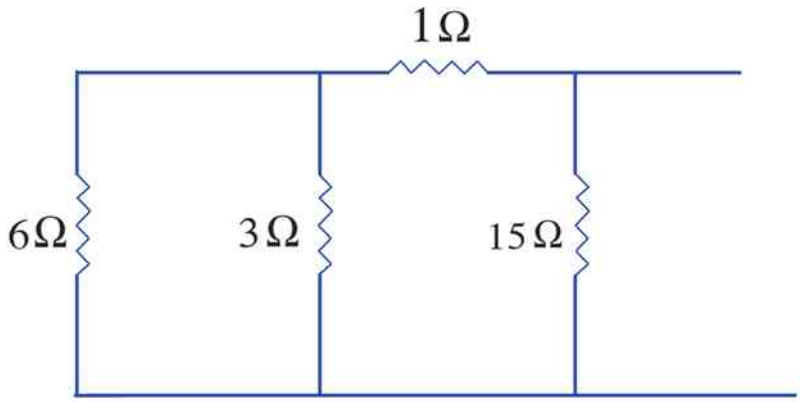
١- احسب المقاومة الكلية للدائرة الموضحة بالشكل وكذلك شدة التيار الكلى المار بهـــا إذا كـــانت المقاومة الداخلية لكل عمود 2Ω

(0.75 A ، 20Ω)



٢- عين المقاومة المكافـــئـــة لمجـــمـــوعـــة المقـــاومـــات الموضـــحـــة بالشكل

(2.5Ω)



٣- دائرة كالموضحة فى شكل (٩-٥) تتكون من بطارية 15V ومقاومة خارجية 2.7Ω ومفتاح، إذا كانت المقاومة الداخلية للبطارية 0.3Ω عين :

اولا : قراءة الڤولتميتر والمفتاح مفتوح بفرض أن مقاومة الفولتميتر لانهائية (15V)

ثانياً : قراءة الڤولتميتر والمفتاح مغلق (13.5V)

٤- صنع طالب مقاومة من سلك ذى طول معين. ثم صنع مقاومة أخرى باستخدام سلك من نفس المادة وكان قطره يساوى نصف قطر السلك الأول، وطوله ضعف طول السلك الأول. أحسب النسبة بين مقاومة السلك الثانى إلى مقاومة السلك الأول. (8)

٥- سلك من النحاس طوله 30 m ومساحة مقطعه $2 \times 10^{-6}\ m^2$ وفرق الجهد بين طرفيه 3V احسب شدة التيار الكهربى، علما بأن المقاومة النوعية للنحاس $1.79 \times 10^{-8}\ \Omega m$ (11.17 A)

٦- مقاومة 4.7Ω وصلت بين قطبى بطارية قوتها الدافعة 12V ومقاومتها الداخلية 0.3Ω

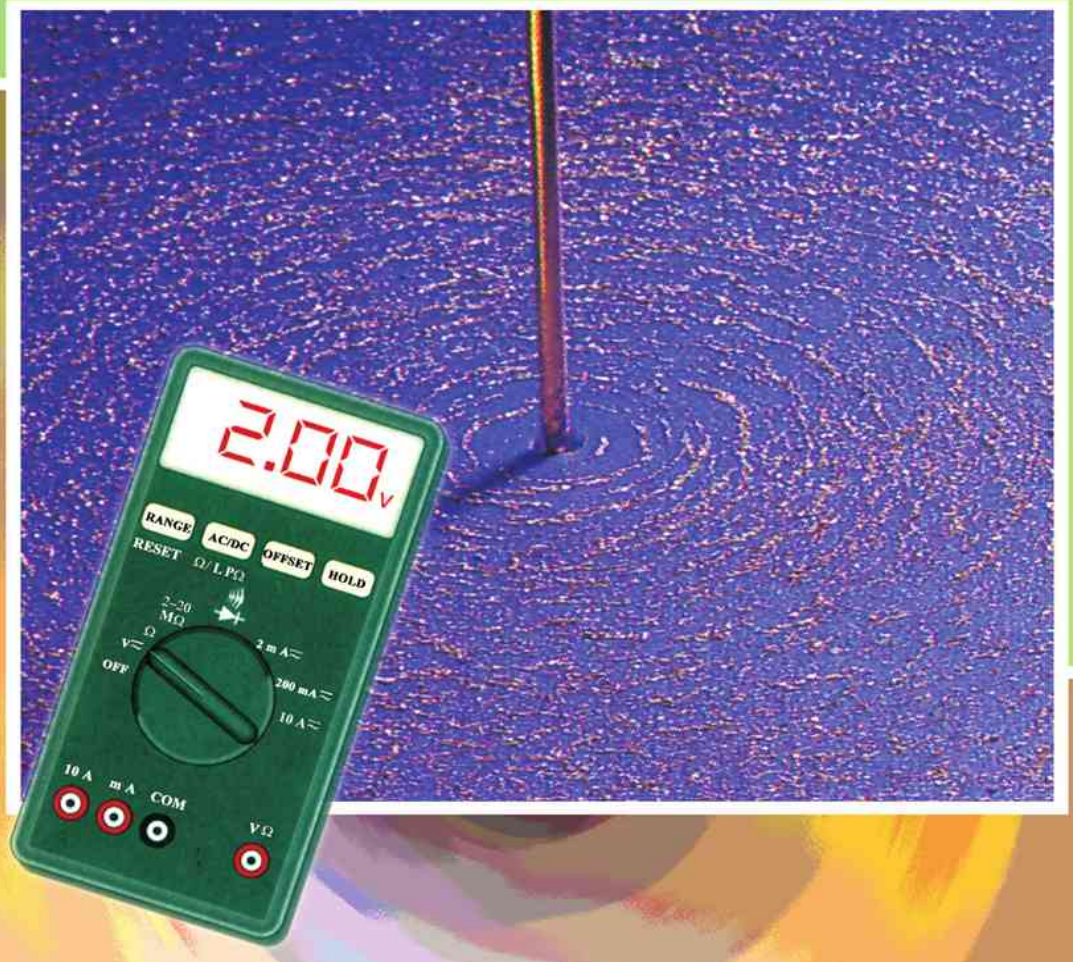
احســـب :

(أ) شدة التيار المار فى الدائرة. (ب) فرق الجهد بين طرفى المقاومة

(11.4V ، 2A)

الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية

الوحدة الرابعة



الفصل العاشر: التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى و أجهزة القياس الكهربى

الفصل العاشر
التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى وأجهزة القياس الكهربى

مقدمـــة :

حـينمـا وضع العـالم الدانمركى هانز أورسـتـد Oersted عـام ١٨١٩ بوصلة مغناطيسية صغيرة بالقرب من سلك يمر به تيار كهربى لاحظ إنحراف إبرة البوصلة. وعندما قطع التيار الكهربى عن السلك، استعادت البوصلة إتجاهها الأصلى. أنحراف البوصلة أثناء مرور التيار الكهربى فى السلك يوضح أنها تتأثر بمجال مغناطيسى خارجى، مما يؤكد تولد مجال مغناطيسى حول السلك نتيجة لمرور تيار كهربى به.

ولقد أدى هذا الكشف الى سلسلة من الدراسات ساعدت فى تشكيل حضارتنا الصناعية.

وسنتناول فى هذه الوحدة المجال المغناطيسى لتيار كهربى فى موصل على هيئة :

(أ) سلك مستقيم. (ب) ملف دائرى. (جـ) ملف لولبى.

المجال المغناطيسى لتيار كهربى يمر فى سلك مستقيم :

يمكننا اختبار ودراسة شكل خطوط الفيض المغناطيسى Magnetic Flux بالقرب من سلك مستقيم يمر به تيار كهربى باستخدام برادة حديد تنثر بعناية على لوحة أفقية من الورق المقوى يخترقها السلك المستقيم وهو فى وضع رأسى. وبطرق لوحة الورق عدة طرقات خفيفة، يلاحظ أن برادة الحديد تترتب على هيئة دوائر منتظمة متحدة المركز، كما فى الشكل (١٠-١).

أورستيد

(شكل ١٠ - ١)
توزيع برادة حديد حول
سلك يمر به تيار

من الشكل نتبين أن الدوائر التى تمثل خطوط الفيض المغناطيسى تتزاحم بالقرب من السلك، وتتباعد بتباعدها عنه، مما يدل على أن شدة المجال المغناطيسى للتيار الكهربى الذى يمر فى سلك مستقيم تزداد بالإقتراب من السلك وتقل بالإبتعاد عنه.

ومع زيادة شدة التيار الكهربى فى السلك واعادة طرق لوحة الورق المقوى، يزداد تزاحم خطوط الفيض حول السلك، إذ تصبح الدوائر أكثر ازدحاما مما كانت عليه، مما يدل على أن شدة المجال المغناطيسى للتيار الكهربى الذى يمر فى سلك مستقيم تزداد بزيادة شدة التيار الكهربى وتقل بانقاصه.

ويعبر عن شدة المجال المغناطيسى بكثافة الفيض المغناطيسى B، وهو الفيض المغناطيسى ϕ_m لوحدة المساحة $B = \frac{\phi_m}{A}$. وتكون وحدتها Weber/m^2 (Tesla)

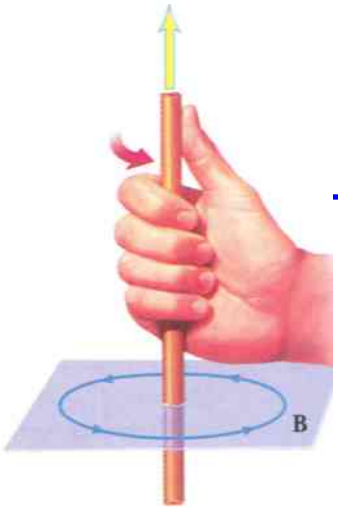
وتتعين كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بعدها العمودى d عن السلك الذى يمر به تيار شدته I من العلاقة :

$$B = \frac{\mu I}{2 \pi d} \qquad (10\text{-}1)$$

وتسمى هذه العلاقة قانون أمبير الدائرى Ampere's Circuital Law، حيث μ هى النفاذية المغناطيسية للوسط Permeability. وهى للهواء تساوى $4\pi \times 10^{-7}$ Weber/A.m ومن هذه العلاقة نتبين أن كثافة الفيض B تتناسب طرديا مع شدة التيار I، وعكسيا مع المسافه d، ولذلك ينصح ببناء المساكن بعيداً عن أبراج الضغط العالى للكهرباء حفاظاً على الصحة العامة والبيئة.

قاعدة اليد اليمنى لأمبير:

لتعيين اتجاه المجال المغناطيسى الناشئ عن تيار كهربى يمر فى سلك، نتخيل أننا نقبض باليد اليمنى على السلك بحيث يشير الإبهام الى اتجاه التيار الكهربى، فإن اتجاه الأصابع الملتفة على السلك، يحدد إتجاه المجال المغناطيسى للتيار الكهربى، كما فى الشكل (١٠-٢).



(شكل ١٠ - ٢)
قاعدة اليد اليمنى

مثـــال :

عين كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة فى الهواء على بعد 10 cm من سلك مستقيم طويل يمر به تيار شدته 10A ، علما بأن μ للهواء تساوى $4\pi \times 10^{-7}$ Weber/A.m

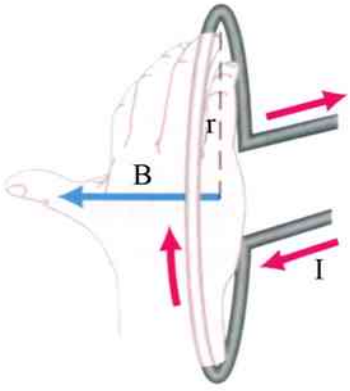
الحـــل :

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10}{2\pi \times 0.1} = 2 \times 10^{-5} \text{ Tesla}$$

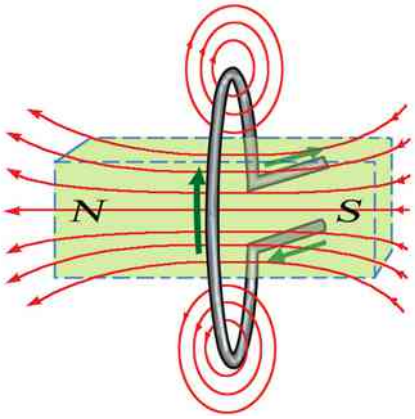
المجال المغناطيسى لتيار يمر فى ملف دائرى :

عند إمرار تيار كهربى فى سلك منحنى على شكل حلقة دائرية شكل (١٠-٣ أ)، فإن المجال المغناطيسى الناشىء عن هذا الملف الدائرى يشبه الى حد كبير المجال المغناطيسى لمغناطيس قصير. حيث يكون الوجه الذى يبدو فيه اتجاه التيار عند النظر اليه فى اتجاه حركة عقارب الساعة قطبا جنوبياً، والوجه الذى يبدو فيه اتجاه التيار عند النظر اليه فى عكس اتجاه حركة عقارب الساعة قطبا شماليا كما فى شكل (١٠-٣جـ).

أ-تخطيط المجال



ب- إتجاه المجال عند مركز الملف



جـ - تحديد قطبية المجال

شكل (١٠-٣)

المجال المغناطيسى لملف دائرى

ولدراسة المجال المغناطيسى للملف الدائرى ننثر برادة الحديد على لوح الورق المقوى الذى يخترقه الملف الدائرى، وعند طرق لوح الورق المقوى طرقات خفيفة، تترتب البرادة متخذة الشكل الموضح بالرسم (شكل ١٠-٣ أ).

فى هذا الشكل يمكننا ملاحظة ما يلى :

(أ) تفقد خطوط الفيض دائريتها.

(ب) تختلف كثافة الفيض المغناطيسى من نقطة لأخرى.

(جـ) خطوط الفيض عند محور الملف الدائرى خطوط مستقيمة متوازية متعامدة على مستوى الملف، مما يدل على أن المجال المغناطيسى فى هذه المنطقة مجال منتظم.

ويمكن حساب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف الدائرى بمعرفة نصف قطره r وشدة التيار المار I وعدد اللفات N، حيث تطبق العلاقة :

$$B = \frac{\mu N I}{2 r} \qquad (10\text{-}2)$$

حيث μ هى معامل النفاذية للهواء وتساوى $4\pi \times 10^{-7}$ Weber/A.m

من هذه العلاقة نتبين أن كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى تتوقف على عوامل ثلاثة هى :

١- عدد لفات الملف الدائرى حيث تكون $B \propto N$

٢- شدة التيار المار فى الملف الدائرى حيث تكون : $B \propto I$

٣- نصف قطر الملف الدائرى r حيث تكون : $B \propto \frac{1}{r}$

• قاعدة البريمة اليمنى: Right Hand Screw Rule

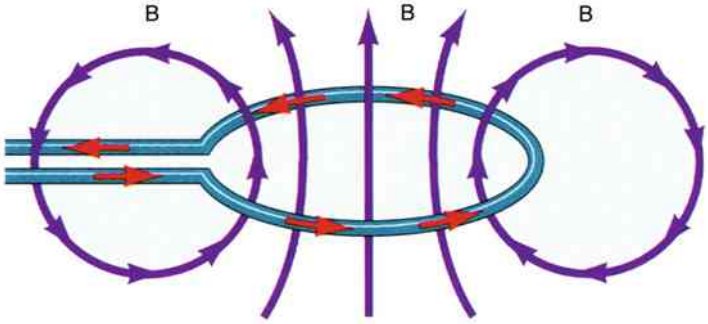
لتعيين اتجاه المجال المغناطيسى عند مركز ملف دائرى يمر به تيار كهربى، نتخيل دوران بريمة (قلاوظ Screw) فى اليد اليمنى فى اتجاه الربط (فى اتجاه حركة عقارب الساعة) عند مركز الملف، بحيث يشير اتجاه دورانها إلى اتجاه التيار الكهربى فى الملف فإن اتجاه اندفاعها يدل على اتجاه المجال المغناطيسى عند مركز الملف، كما فى الشكلين (١٠-٤) - (١٠-٥).

وبذلك فإن ملفاً دائرياً يمر به تيار يكافىء ثنائى قطب مغناطيسى Magnetic Dipole .

ويلاحظ أنه لا يوجد فى الطبيعة أقطاب منفردة، فدائما يوجد قطبان أحدهما شمالى N والثانى جنوبى S، وبذلك يماثل الملف الدائرى الذى يمر فيه تيار مغناطيسا على هيئة قرص مصمت له قطبان مستديران (شكل ١٠-٣).

شكل (١٠-٤)

قاعدة البريمة اليمنى
اتجاه حركة مسماربريمة
(أثناء الربط)



شكل (١٠-٥)

ملف دائرى يمر به تيار فى إتجاه حركة ربط البريمة

مثـــــال :

عين كثافة الفيض المغناطيـسى عند مركز ملف دائرى نصف قطره 11cm وعدد لفاته 20 لفة، ويمر به تيار كهربى شدتـه 1.4 A ، علمـا بأن μ للهـواء تسـاوى $4\pi \times 10^{-7}$ Weber/A.m

الحـــــل :

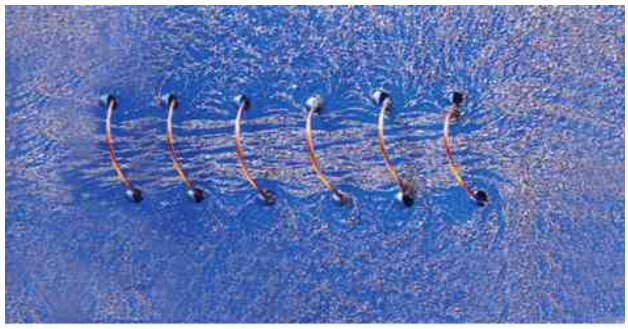
$$B = \frac{\mu NI}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20 \times 1.4}{2 \times 0.11}$$

$$= \frac{4 \times 22 \times 10^{-7} \times 20 \times 1.4}{7 \times 2 \times 0.11} = 16 \times 10^{-5} \quad \text{Tesla}$$

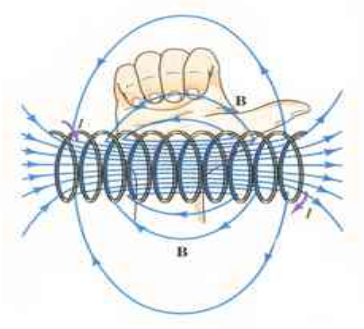
• المجال المغناطيسى لتيار كهربى يمر فى ملف لولبى

عندما يوصل طرفا ملف لولبى بمصدر تيار كهربى كما فى الشكل (١٠-٦) يتولد مجال مغناطيسى يشبه الى حد كبير ا لمجال المغناطيسى لقضيب مغناطيسى.

ومن الشكل (١٠-٦أ)، يتضح أن خطوط الفيض تمثل مسارات متصلة داخل وخارج الملف. أى أن كل خط بمثابة مسار مغلق. طرف الملف الذى تخرج منه خطوط الفيض المغناطيسى هو القطب الشمالى للملف، والطرف الأخر الذى تدخل فيه خطوط الفيض المغناطيسى هو القطب الجنوبى للملف.



(أ)



(ب)

شكل (١٠-٦)

ا لمجال المغناطيسى لملف لولبى

أ- تخطيط ا لمجال المغناطيسى

ب- تحديد قطبية ا لمجال بإستخدام قاعدة أمبير لليد اليمنى

وتتوقف كثافة الفيض المغناطيسى عند أى نقطة على ا لمحور داخل الملف اللولبى الذى يمر به تيار كهربى على كل من :

١- شدة التيار المار حيث $B \propto I$

٢- عدد اللفات فى وحدة الأطوال حيث $B \propto n$

$\therefore B \propto nI$

ومنهـا :

$B = \mu nI$

وتكتب العلاقة السابقة أحيانا على الصورة

$$B = \mu \frac{N}{ع} I \qquad (10-3)$$

حيث N العدد الكلى للفات ملف لولبى طوله ع.

ولتعيين قطبى الملف اللولبى الذى يمر به تيار كهربى، نستخدم قاعدة البريمة اليمنى باعتبار أن الملف اللولبى يتكون من مجموعة لفات دائرية متحدة المحور (شكل ١٠-٦ب).

أمثلة:

١- يتكون ملف لولبى من 800 لفة ويمر به تيار شدته 0.7 A، احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بداخله وتقع على محوره، علما بأن طوله 20cm

الحـــــل :

$$B = \frac{\mu NI}{ع} = \frac{4 \times 22 \times 10^{-7} \times 800 \times 0.7}{7 \times 0.2}$$

$$= 3.52 \times 10^{-3} \text{ Tesla}$$

٢- احسب شدة التيار الكهربى اللازم لجعل كثافة الفيض المغناطيسى فى الملف السابق تساوى 0.815 Tesla فى حالة وجود قلب من الحديد داخله ، علماً بان النفاذية المغناطيسية للحديد هى 1.63×10^{-2} Weber/Am

الحـــــل :

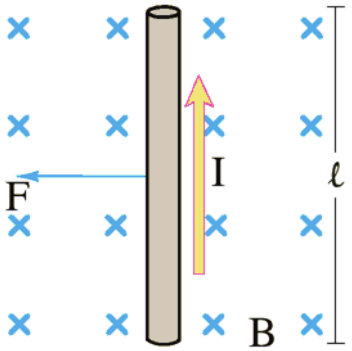
$$B = \mu \frac{NI}{ع}$$

$$0.815 = \frac{1.63 \times 10^{-2} \times 800 \times I}{0.2}$$

$$I = \frac{0.815 \times 0.2}{1.63 \times 10^{-2} \times 800} = 0.0125 \text{ A} = 12.5 \text{ mA}$$

• القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى على سلك يمر به تيار كهربى موضوع فى هذا المجال :

إذا وضعنا سلكا مستقيما يمر به تيار بين قطبى مغناطيس، فإنه تنشأ قوة تؤثر علي السلك وتكون عمودية عليه وعلى المجال المغناطيسى كما هو مبين (شكل ١٠-٧).



شكل (١٠ - ٧)
القوة الناشئة عن مجال مغناطيسى على سلك يمر به تيار.
ملحوظة: (العلامة X تمثل الإتجاه داخل الصفحة)

وينعكس اتجاه القوة إذا عكسنا اتجاه التيار فيه أو اتجاه المجال المغناطيسى المؤثر عليه. وفى كل الأحوال يكون اتجاه القوة عمودياً على كل من اتجاه التيار الكهربى واتجاه المجال.

تتطلب حركة السلك وجود قوة تحركه، وتكون بدورها عمودية على كل من اتجاه التيار الكهربى واتجاه المجال المغناطيسى. ويمكن تحديد اتجاه القوة التى يؤثر بها المجال المغناطيسى على سلك يمر به تيار كهربى موضوع عمودياً على اتجاه المجال، وذلك بتطبيق قاعدة اليد اليسرى لفلمنج.

قاعدة اليد اليسرى لفلمنج Fleming's Left Hand Rule:

نجعل اصبعى اليد اليسرى السبابة والإبهام متعامدين على بعضهما وعلى باقى الأصابع، بحيث تشير السبابة إلى اتجاه الفيض المغناطيسى وباقى الأصابع ماعدا الإبهام إلى اتجاه التيار ، عندئذ يشير الإبهام الى اتجاه القوة المغناطيسية، وبالتالى الى اتجاه حركة السلك، كما فى الشكل (١٠-٨).

شكل (١٠-٨)
قاعدة فلمنج لليد اليسرى

وقد وجد أن القوة المؤثرة على سلك يحمل تياراً كهربياً - يسرى عمودياً على

مجال مغناطيسى - تتوقف على عدة عوامل هى :

١- طول السلك ع

فالقوة F تتناسب طردياً مع طول السلك ع ، أى أن : $F \propto$ ع

٢- شدة التيار الكهربى I

فالقوة F تتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربى المار فى السلك، أى أن $F \propto I$

٣- كثافة الفيض المغناطيسى B

فالقوة F تتناسب طردياً مع كثافة الفيض المغناطيسى B ، أى أن $F \propto B$

وبذلك يكون :

$$F \propto BI \text{ ع}$$

$$\therefore F = \text{const} \times BI \text{ ع}$$

ولقد تم إتخاذ وحدة لكثافة الفيض المغناطيسى هى التسلا Tesla ، بحيث تولد قوة تساوى واحد نيوتن على سلك طوله واحد متر، يمر به تيار كهربى شدته واحد أمبير

أى $\text{Weber/m}^2 = \text{N/Am}$

وعندئذ يكون :

$$F = BI \text{ ع} \quad \text{(Newton)} \qquad (10 - 4)$$

أو $B = \dfrac{F}{I \text{ ع}}$ Tesla

التســـلا :

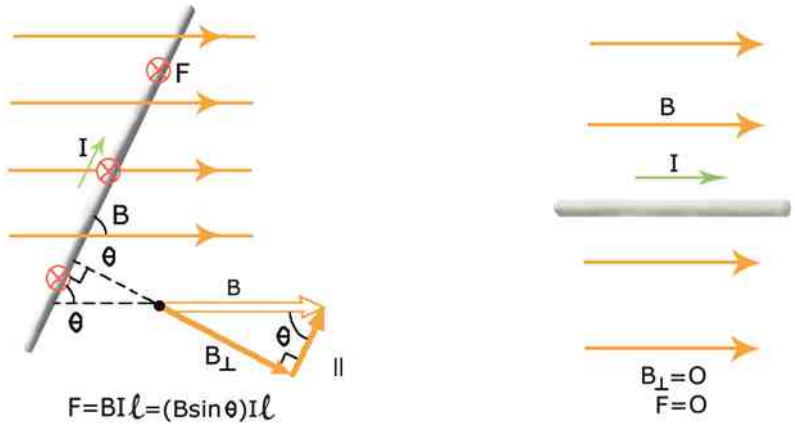
وحدة كثافة الفيض المغناطيسى : وهى كثافة الفيض المغناطيسى الذى يولد قوة مقدارها نيوتن واحد على سلك طوله متر واحد يمر به تيار كهربى شدته أمبير واحد، عندما يكون السلك عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسى.

وعندما يكون السلك الذى يمر به التيار الكهربى فى إتجاه يميل على إتجاه المجال بزاوية θ -كما فى الشكل (١٠-٩)- عندئذ يمكن تحليل كثافة الفيض المغناطيسى الى مركبتين ، إحداهما موازية لاتجاه التيار فى السلك، ومقدارها $B \cos \theta$ ، والأخرى عمودية على إتجاه التيار فى السلك، ومقدارها $B \sin \theta$ ، وفى هذه الحالة تكون :

$$F = BI \text{ ع} \sin \theta$$

من هذه العلاقة، نتبين أن القوة F تنعدم عندما تكون θ مساوية للصفر، أى عندما يكون السلك والمجال المغناطيسى متوازيين.

يمكنك تخيل اتجاه القوة فى حالات مختلفة مع مراعاة أن علامة ⊙ معناها خارج الصفحة وعلامة ⊗ معناها داخل الصفحة.



(ب) (أ)

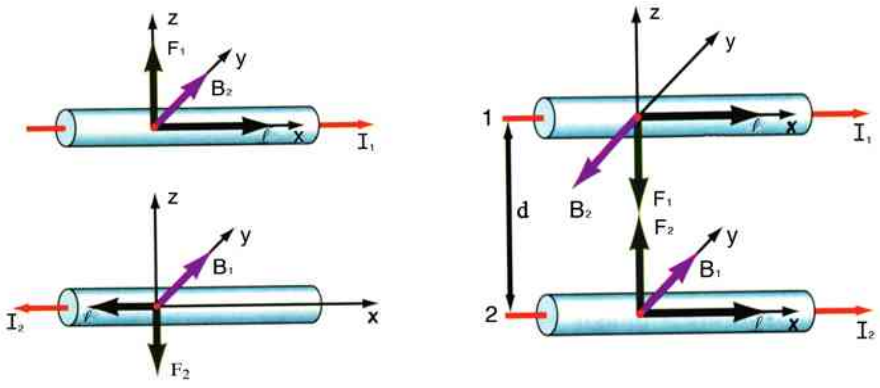
شكل (١٠ - ٩)

سلك يمر به تيار فى إتجاه يميل على إتجاه ا لمجال المغناطيسى بزاوية θ

أ- تنعدم القوة عند θ = 0 (السلك فى إتجاه ا لمجال) ب- تنشأ قوة عندما تكون θ لا تساوى صفر

القوة بين سلكين متوازيين يحملان تيارين

عندما يمر تيار I_1 فى سلك وتيار I_2 فى سلك آخر موازٍ، فإنه تنشأ قوة بين السلكين. وتكون القوة تجاذبية، إذا كان التياران فى نفس الاتجاه، وتنافرية إذا كان التياران في عكس الاتجاه. ويمكن حساب القوة على الوجه التالى:



(ب) (أ)

شكل (١٠ - ١٠)

القوة بين سلكين متوازيين يحملان تيارين

أ - التياران فى نفس الاتجاه ب - التياران فى اتجاهين متضادين

$$B_2 = \frac{\mu_o I_2}{2\pi d}$$

$$F_1 = B_2 I_1 ع$$

$$= \left(\frac{\mu_o I_2}{2\pi d}\right) I_1$$

$$F_1 = \frac{\mu_o I_1 I_2 ع}{2\pi d}$$

أمثلة:

١- سلك طوله 30cm يمر به تيار شدته 4A وضع عمودياً على إتجاه مجال مغناطيسى فتأثر بقوة مقدارها 6 N إحسب كثافة الفيض المغناطيسى.

الحـــــل :

$$F = BI ع$$

$$6 = B \times 4 \times 0.3$$

$$B = \frac{6}{4 \times 0.3} = \frac{6}{1.2} = 5 \text{ Tesla}$$

٢- مستخدماً بيانات المثال السابق إحسب القوة التى يؤثر بها المجال المغناطيسى على نفس السلك عندما تكون الزاوية بينهما 30°

الحـــــل :

$$F = BI ع \sin\theta$$

$$= 5 \times 4 \times 0.3 \times \frac{1}{2} = 3 \text{ N}$$

• القوة والعزم المؤثران على ملف مستطيل يمر به تيار كهربى موضوع فى مجال مغناطيسى

إذا كان لدينا ملف abcd (شكل ١٠-١١) مستواه يوازى خطوط الفيض للمجال المغناطيسى المنتظم، فإن كلاً من ad , bc يكونان موازيين لخطوط الفيض. وتكون القوة المؤثرة على كل منها تساوى صفراً، أما كلا من cd , ab فيكونان عموديين على خطوط الفيض، لذا يتأثران بقوتين متساويتين فى المقدار ومتضادتين فى الاتجاه، وتكونان متوازيتين، وقيمة كل منهما $F=BI ع_{cd}$ ، وبينهما مسافة عمودية تمثل بطول الضلع = $ع_{ad}$ أو $ع_{bc}$، ولذا يتأثر الملف بإزدواج يعمل على دوران الملف حول محوره. وتكون قيمة

عزم الإزدواج هى :

العزم = إحدى القوتين × البعد العمودى بينهما

$$\tau = BI\ ع_{cd} \cdot ع_{bc} = BIA$$

حيث A هى مساحة مقطع الملف = $ع_{bc}\ ع_{cd}$

وإذا كان الملف يحتوى على N لفة فإن العزم الكلى يساوى:

$$\tau = BIAN = B|\overrightarrow{m_d}| \qquad (10\text{-}5)$$

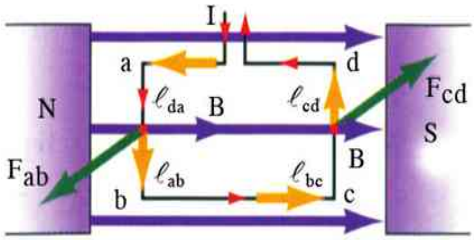
حيث IAN = $|\overrightarrow{m_d}|$ وهى عزم ثنائى القطب المغناطيسى Magnetic Dipole Moment وهو كمية متجهة واتجاهها عمودى على المساحة فى اتجاه تقدم بريمة اليد اليمنى فى اتجاه الربط، وهو اتجاه التيار. وعلى ذلك إذا كان الملف عمودياً على خطوط الفيض فإن عزم الإزدواج المؤثر يساوى صفراً.

أما إذا كان مستوى الملف يميل على خطوط الفيض بزاوية θ فإن عزم الإزدواج

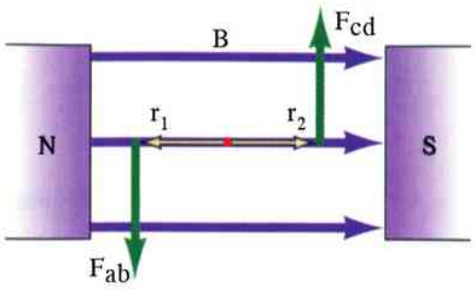
$$\tau = BIAN\ \sin\theta \qquad (10\text{-}6)$$

حيث θ هى الزاوية بين العمودى على مستوى الملف (وهو اتجاه عزم ثنائى القطب المغناطيسى $\overrightarrow{m_d}$) وخطوط الفيض المغناطيسى. ويقاس عزم الإزدواج بالوحدة Nm.

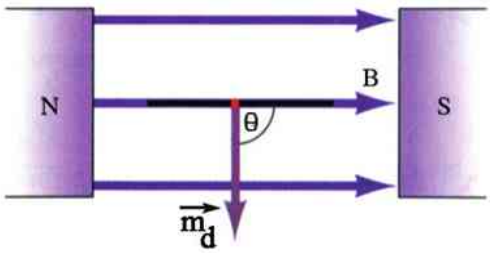
تستخدم فكرة عزم الازدواج فى عمل ملف يمر به تيار كهربى فى أجهزة القياس الكهربية، وأيضا فى المحرك الكهربى والذى سيتم تناوله بالتفصيل فى نهاية الفصل الحادى عشر.



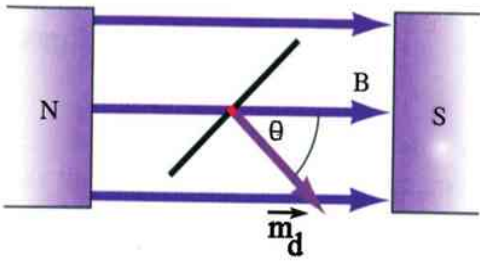
أ- الملف موازى للمجال.



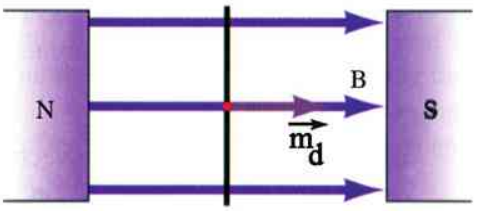
ب- منظر للملف من أعلى عندما يكون موازيا للمجال.



جـ - منظر للملف من أعلى حين يكون عزم ثنائى القطب المغناطيسى عموديا على المجال.



د - منظر للملف من أعلى حين يكون عزم ثنائى القطب المغناطيسى يميل بزاوية Θ مع المجال.



هـ - منظر للملف من أعلى حين يكون الملف عموديا على المجال أى عزم ثنائى القطب المغناطيسى موازٍ للمجال ويكون الازدواج صفراً.

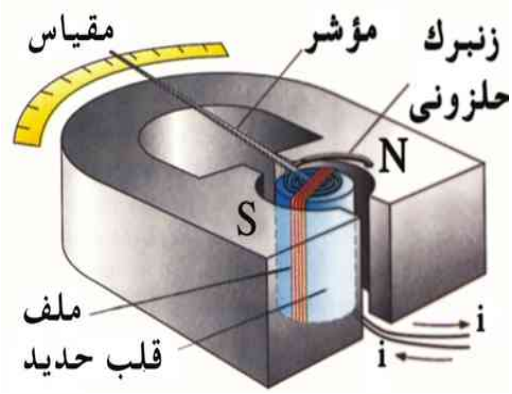
شكل (١٠ - ١١)

عزم الأزدواج فى ملف يحمل تياراً

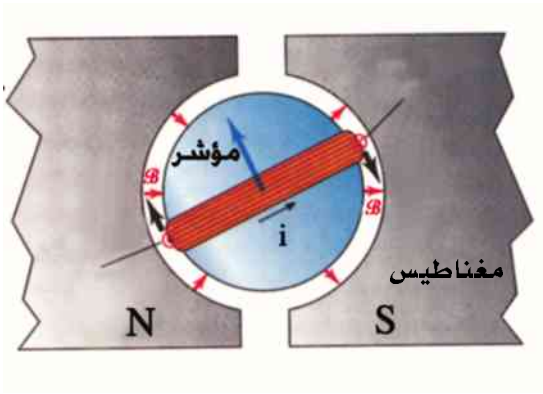
تطبيقات: أجهزة القياس الكهربية

الجلفانومتر ذو الملف المتحرك (الجلفانومتر الحساس) :

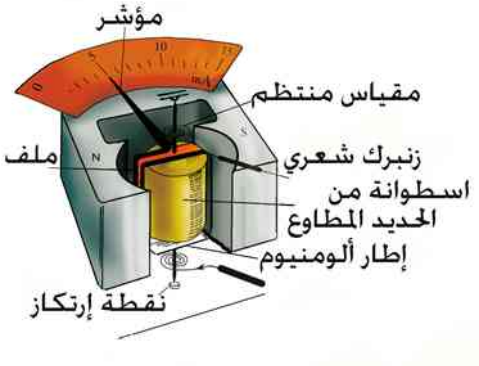
الجلفانومتر ذو الملف المتحرك Moving Coil Galvanometer جهاز يستخدم للاستدلال على وجود تيارات كهربية ضعيفة جداً فى دائرة ما، وقياس شدتها، وتحديد إتجاهها. وتعتمد فكرة عمله على عزم الإزدواج المؤثر فى ملف يمر به تيار كهربى قابل للحركة فى مجال مغناطيسى.



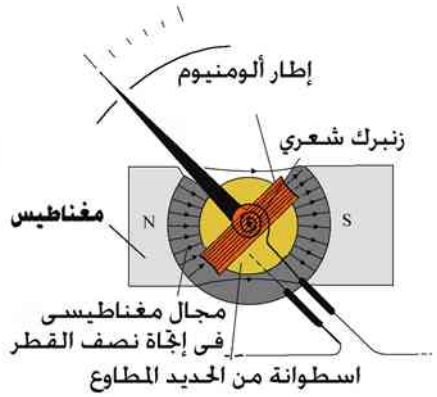
أ-منظر مبسط للجلفانومتر عندما يكون المؤشر فى منتصف التدريج .



ب- منظر علوى .



جـ - الجلفانومتر وقد تحول إلى ميللى أميتر .



د - منظر علوى .

شكل (١٠-١٢)
أشكال توضيحية للجلفانومتر

والأجزاء الرئيسية لهذا الجهاز (شكل ١٠-١٢) هى ملف من سلك رفيع ملفوف حول إطار مستطيل خفيف من الألومنيوم يمكن أن يدور حول محوره، ويوضع قلب من الحديد المطاوع Soft Iron على هيئة اسطوانة ثابتة، يرتكز الملف على حوامل من العقيق، بحيث يقع بين قطبى مغناطيس قوى على شكل حذاء الفرس Horse Shoe. ويتحكم فى حركته زوج من الملفات اللولبية (أو الزنبركية) تعمل كوصلات للتيار بالنسبة للملف. وتبعاً لاتجاه شدة التيار المراد قياسه يمكن للملف والمؤشر أن يتحركا فى إتجاه حركة عقارب الساعة أو فى عكس إتجاه حركة عقارب الساعة. ويلاحظ من الشكل أن القطبين المغناطيسيين الدائمين مقعران ، بحيث تكون خطوط الفيض المغناطيسى بينهما على هيئة أنصاف أقطار، مما يجعل كثافة الفيض المغناطيسى ثابتة فى الحيز الذى يتحرك فيه الملف مهما كانت زاوية الملف. وخطوط المجال موازية لمستوى الملف وعمودية على الضلعين الطوليين له. وهذا بدوره يجعل انحراف المؤشر يتناسب مع شدة التيار المار فى الملف. عندما يمر التيار الكهربى فى الملف من طرفه الأيمن فى إتجاه إلى داخل الورقة ليخرج من طرفه الأيسر فى إتجاه خارج الورقة فإن القوى المغناطيسية ستولد عزماً يعمل على دوران الملف فى إتجاه حركة عقارب الساعة. وسيتحرك المؤشر حتى يستقر أمام قراءة معينة فى الوضع الذى يتزن فيه هذا العزم مع عزم الإزدواج الناشىء عن لى الملفات الزنبركية الذى يعمل فى عكس إتجاه حركة عقارب الساعة. وتدل قراءة المؤشر على قيمة شدة التيار.

وعندما يمر التيار الكهربى فى الملف فى إتجاه مضاد يتحرك المؤشر فى عكس إتجاه حركة عقارب الساعة.

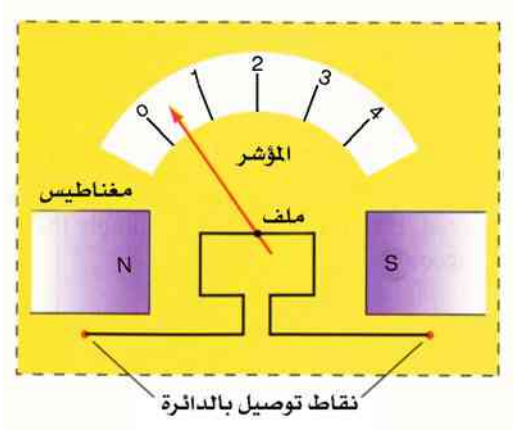
حساسية الجلفانومتر:

تعرف حساسية الجلفانومتر بزاوية انحراف مؤشره عن وضع الصفر عند مرور تيار فيه شدته الوحدة. وتساوى $\frac{\theta}{I}$ ووحداته درجة /ميكرو أمبير $(\deg / \mu A)$

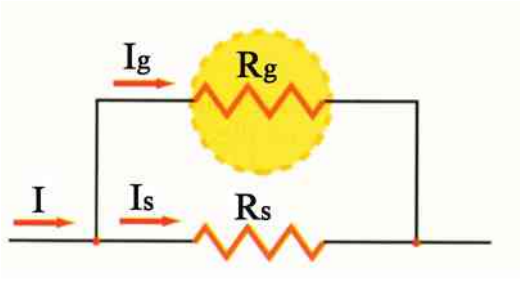
تطبيقات على الجلفانومتر:

أميتر التيار المستمر DC Ammeter :

يستخدم الجلفانومتر لقياس تيارات كهربية ضعيفة. ويمكن تحويل الجلفانومتر إلى أميتر لقياس تيارات شدتها عالية. فالأميتر هو جهاز يستخدم بعد معايرة تدريجه لقياس شدة التيار المار فى دائرته مباشرة. والجلفانومتر ذو الملف المتحرك يمكن النظر إليه كأميتر غير أنه محدود بحساسية ملفه المتحرك. ولزيادة مدى الجلفانومتر يكون ضرورياً إضافة مقاومة صغيرة جداً تسمى مجزىء التيار R_S توصل على التوازى مع ملف الجلفانومتر R_g كما فى الشكل (١٠-١٣).



أ- الجلفانومتر



ب- مجزىء التيار

شكل (١٠-١٣)

تحويل الجلفانومتر إلى أميتر

ويلاحظ أن توصيل مجزىء التيار على التوازى يجعل مقاومة الأميتر ككل صغيرة جداً. وهذا أمر مطلوب حتى لا تتغير شدة التيار المراد قياسه تغيرا ملحوظا بعد إدخال الأميتر فى الدائرة على التوالى.

كما أن الجانب الأعظم من هذا التيار يمر فى المجزىء، ويرمز له بالرمز I_S. ويمر فى ملف الجلفانومتر تيار صغير فقط شدته I_g. وعندما تكون النهاية العظمى للتيار المراد قياسه هى I فإن :

$$I = I_g + I_S$$

$$I_S = I - I_g$$

وعندما تكون مقاومة ملف الجهاز R_g ومقاومة مجزىء التيار R_S فإن :

$$I_s\ R_s = I_g R_g$$

$$R_s = \frac{I_g\ R_g}{I_s} .$$

لأن المقاومتين R_g , R_S متصلتان على التوازى، فيكون فرق الجهد بين طرفيهما واحداً.

ويمكن حل المعادلتين معاً لإيجاد مقاومة مجزىء التيار R_S نجد أن :

$$\mathbf{R_s = \frac{I_g\ R_g}{I - I_g}} \qquad (10\text{-}7)$$

مثال :

جلفانومتر مقاومة ملفه 2Ω يتطلب إنحرافه إلى نهاية تدريجه مرور تيار شدته 5mA ما هى مقاومة مجزىء التيار الذى يجب استخدامه لتحويل الجلفانومتر إلى أميتر النهاية العظمى لتدريجه 10A؟

الحل :

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{0.005 \times 2}{10 - 0.005}$$

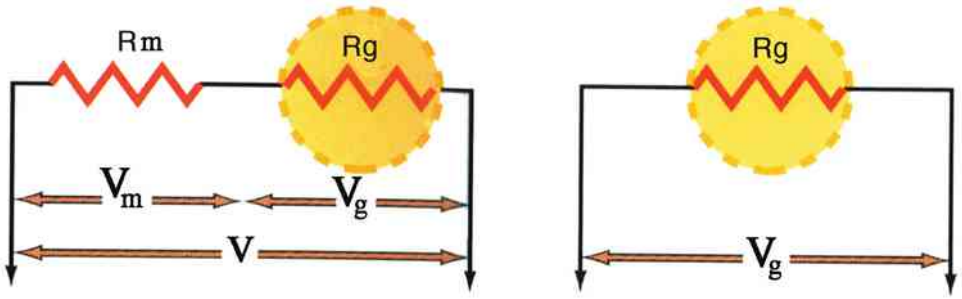
$$R_s = \frac{0.01}{9.995} = 0.001\ \Omega$$

فولتميتر التيار المستمر DC Voltmeter:

يمكن استخدام الجلفانومتر لقياس فروق جهد، ويسمى فى هذه الحالة الفولتميتر.

فالفولتميتر هو الجهاز الذى يستخدم لقياس فروق الجهد عبر أى نقطتين فى دائرة كهربية. وسنوضح هنا كيف يمكن تحويل الجلفانومتر ليستخدم لقياس فروق جهد أى لتحويله إلى فولتميتر. ويكون الطرف الموجب للجهاز متصلاً بالجهد الموجب فى الدائرة والسالب بالسالب. أما إذا انعكس فرق الجهد فلابد من عكس التوصيل.

من المسلم به أن فرق الجهد بين طرفى ملف الجلفانومتر صغير جداً حتى مع إنحراف مؤشره إلى نهاية التدريج. لهذا إذا اردنا استخدام الجلفانومتر لقياس فرق الجهد ينبغى تحويله أولاً إلى جهاز مقاومته عالية. ويترتب على هذا ألا يسحب الفولتميتر تياراً كبيراً من الدائرة الأصلية، وبالتالى لا يحدث تغيراً ملحوظاً فى فرق الجهد المطلوب قياسه. لذلك يوصل ملف الجلفانومتر على التوالى بمقاومة كبيرة جداً تعرف باسم المقاومة المضاعفة للجهد Multiplier Resistance، كما فى الشكل (١٠-١٤).



ب- الجلفانومتر بعد التحويل إلى فولتميتر

أ- الجلفانومتر قبل التحويل إلى فولتميتر

شكل (١٠-١٤)

تحويل الجلفانومتر إلى فولتميتر

ويوصل الفولتميتر ذاته على التوازى مع جزء الدائرة المطلوب قياس فرق الجهد عليه. لذلك إذا كانت مقاومة ملف الجلفانومتر هى R_g والمقاومة المضاعفة للجهد هى R_m وهى متصلة على التوالى مع R_g ، لذلك تكون أقصى شدة تيار يمر فيها I_g هى شدة التيار التى تلزم لجعل مؤشر الجهاز ينحرف حتى نهاية التدريج.

وعندئذ يكون فرق الجهد على ملف الجهاز هو :

$$V_g = I_g R_g$$

وأقصى فرق جهد مطلوب قياسه.

$$V = I_g R_g + I_g R_m = V_g + I_g R_m$$

وعلى ذلك

$$R_m = \frac{V - V_g}{I_g} \qquad (10\text{-}8)$$

مثال :

جلفانومتر مقاومة ملفه 0.1Ω أو يبلغ أقصى إنحراف له عندما يمر به تيار شدته $1mmA$. احسب المقاومة المضاعفة للجهد اللازمة لتحويله إلى فولتميتر يصلح لقياس فرق جهد نهايته العظمى $50V$

الحل :

$$V_g = I_g R_g = 0.001 \times 0.1 = 1 \times 10^{-4}\ V$$

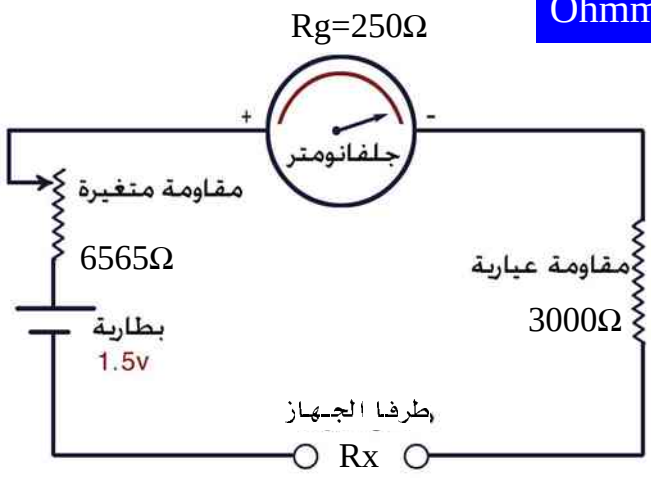
$$R_m = \frac{V - V_g}{I_g} = \frac{50 - 1 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-3}}$$

$$= 49999.9\ \Omega$$

يلاحظ هنا أن المقاومة الكلية للفولتميتر هى :

$$R_{total} = 49999.9 + 0.1 = 50000\ \Omega$$

الأوميتر : Ohmmeter



شكل (١٠ - ١٥)

دائرة معايرة الأوميتر

يعتمد قياس مقاومة ما على شدة التيار التى تسرى فى الدائرة موضع الإختبار وعلى الإنخفاض فى الجهد Voltage Drop عبر المقاومة. وإذا علمنا أن شدة التيار المار I والانخفاض فى الجهد عبر المقاومة المجهولة V، فإن المقاومة R يمكن حسابها من قانون أوم (R = V / I).

وإذا ظل فرق الجهد ثابتاً ومعلوماً يمكننا رفع الفولتميتر من الدائرة ومعايرة الجلفانومتر ليعطى قيمة المقاومة مباشرة (شكل ١٠- ١٥). فمع زيادة المقاومة تقل شدة التيار المار فى الدائرة. وتقل بالتالى قراءة الجلفانومتر الذى تتم معايرته بهذه الطريقة لتدل قراءته على قيمة المقاومة، ومن ثم يسمى "الأوميتر".

والأوميتر المعتاد موضح فى (الشكل ١٠-١٥). وهو بمثابة ميكرو أميتر يقرأ 400μA كحد أقصى ومقاومته 250Ω ، موصل على التوالى مع 3000Ω ، وكذلك مع مقاومة متغيرة مداها 6565Ω ، وعمود كهربى جاف قوته الدافعة الكهربية 1.5 V مع إهمال مقاومته الداخلية.

وعندما يتم تلامس طرفى الاختبار للجهاز (R_x =0) يمر فى الدائرة تيار كهربى. ولكى ينحرف المؤشر إلى نهاية التدريج، ينبغى أن تكون مقاومة الدائرة $\frac{1.5}{400 \times 10^{-6}} = 3750\ \Omega$

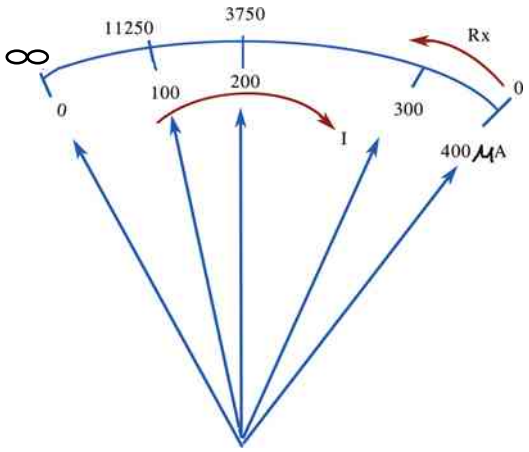
وتضبط المقاومة المتغيرة لينحرف المؤشر إلى نهاية التدريج حتى يتم تعويض الفرق بين هذه القيمة والمجموع (250 + 3000 Ω) بضبط قيمة المقاومة المتغيرة = 500Ω

إذا أدخلت الآن أية مقاومة فى الدائرة سيمر تيار أقل شدة، وبالتالى سيكون المؤشر أقل

إنحرافاً. ولهذا يمكن معايرة الجهاز بدلالة قيمة المقاومة التى تم إدخالها. فإذا أدخلت مقاومة R_x تساوى مقاومة الدائرة 3750Ω سيمر فى الجهاز $200\mu A$ ، وسيبلغ الإنحراف نصف التدريج، وإذا استبدلت المقاومة بضعف قيمتها أى بضعف مقاومة الدائرة (7500Ω) سيبلغ الانحراف $\frac{1}{3}$ التدريج. ومع مقاومة تساوى 3 أمثال مقاومة الدائرة (11250Ω) سيبلغ الانحراف $\frac{1}{4}$ التدريج $100\mu A$

يلاحظ هنا أن التدريج المستخدم لقياس المقاومات شكل (١٠-١٦) هو عكس اتجاه تدريج التيار، بمعنى أن أقصى انحراف يقابل مقاومة منعدمة (عند تلامس طرفى الاختبار). وكلما زادت المقاومة قل الانحراف. ويلاحظ أيضاً أن أقسام التدريج ليست متساوية، حيث تتباعد فى الجهة اليمنى من التدريج، وتتقارب فى الجهة اليسرى.

$R_x(\Omega)$	$I\mu A$
0	400
3750	200
11250	100
∞	0



شكل (١٠-١٦)

تدريج الأوميتر

هذه الأنواع من أجهزة القياس والتى تعتمد على قراءة مؤشر تسمى أجهزة تناظرية Analog ومنها أجهزة تقيس الجهد والتيار والمقاومة Multimeter (شكل ١٠-١٧). ويوجد نوع آخر من الأجهزة يعتمد على قراءة أعداد رقمية تدل على قيمة الجهد أو التيار أو المقاومة على شاشة صغيرة بدون مؤشر، وتسمى هذه الأجهزة الأجهزة الرقمية، وتسمى أجهزة القياس الرقمية متعددة الأغراض Digital Multimeter (شكل ١٠-١٨)، وتعتمد على الإلكترونيات

الرقمية (الفصل الخامس عشر) . وهذه الأجهزة جميعها تقيس الجهد أو التيار فى اتجاه واحد أى DC لذلك فإن هذه الأجهزة تسمى DC/Multimeter. أما إذا كان التيار أو الجهد متردداً AC، فإن الأجهزة المستخدمة حينئذ تسمى AC/Multimeter.

شكل (١٠ - ١٧)

جهاز قياس تناظرى متعدد الأغراض

شكل (١٠ - ١٨)

جهاز قياس رقمى متعدد الأغراض

تلخيص

التعاريف والمفاهيم الاساسية :

- يتولد مجال مغناطيسى حول سلك يمر به تيار كهربى.
- تزداد كثافة الفيض المغناطيسى الناشىء عن تيار كهربى يمر فى سلك مستقيم :

(أ) بالإقتراب من السلك.

(ب) بزيادة شدة التيار الكهربى.

- يمكن تعيين إتجاه المجال المغناطيسى الناشىء عن تيار كهربى يمر فى سلك مستقيم باستخدام قاعدة اليد اليمنى لأمبير.
- المجال المغناطيسى الناشىء عن مرور تيار كهربى فى سلك على شكل حلقة دائرية يشبه الى حد كبير المجال المغناطيسى لمغناطيس قصير.
- تتوقف كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى يمر به تيار كهربى على :

(أ) عدد لفات الملف الدائرى.

(ب) شدة التيار المار فى الملف الدائرى.

(جـ) نصف قطر الملف الدائرى.

- يتعين إتجاه المجال المغناطيسى عند مركز ملف دائرى يمر به تيار كهربى باستخدام قاعدة بريمة اليد اليمنى.
- المجال المغناطيسى الناشىء عن مرور تيار كهربى فى سلك ملفوف لفاً حلزونياً يشبه الى حد كبير المجال المغناطيسى لقضيب مغناطيسى.
- تتوقف كثافة الفيض المغناطيسى عند أى نقطة على المحور داخل الملف اللولبى الذى يمر به تيار كهربى على كل من :

(أ) شدة التيار المار.

(ب) عدد اللفات فى وحدة الأطوال.

- لتعيين قطبية الملف اللولبى الذى يمر به تيار كهربى تستخدم قاعدة البريمة اليمنى.
- وحدة كثافة الفيض المغناطيسى Web / m^2، أو Tesla، أو N/Am

- العوامل التى تتوقف عليها القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى على سلك يمر به تيار كهربى موضوع فى المجال هى :

(أ) طول السلك. (ب) شدة التيار.

(جـ) كثافة الفيض المغناطيسى.

(د) الزاوية المحصورة بين السلك واتجاه المجال المغناطيسى.

- الجلفانومتر ذو الملف المتحرك : جهاز يستخدم للاستدلال على وجود تيارات ضعيفة جداً فى دائرة ما وقياس شدتها وتحديد إتجاهها.
- تعتمد فكرة الجلفانومتر ذو الملف المتحرك على عزم الازدواج المؤثر فى ملف قابل للحركة فى مجال مغناطيسى.
- حساسية الجلفانومتر تقاس بزاوية إنحراف مؤشره عند مرور تيار فى ملفه شدته الوحدة.
- الأميتر : جهاز يستخدم بعد معايرة تدريجه لقياس شدة التيار المار فى دائرة مباشرة، وهو أساساً جلفانومتر ذو ملف متحرك.
- لزيادة مدى الجلفانومتر توصل مقاومة صغيرة جداً. تسمى مجزىء التيار على التوازى مع ملفه.
- مقاومة الأميتر (مع مجزىء التيار) صغيرة جداً. ولذلك لا تؤثر تأثيرا ملحوظا فى تيار الدائرة عند توصيله على التوالى فيها.
- الڤولتميتر : جهاز يستخدم لقياس فروق الجهد عبر أى نقطتين فى دائرة كهربية وهو أساساً جلفانومتر ذو ملف متحرك يوصل مع ملفه على التوالى مقاومة كبيرة جداً تسمى المقاومة المضاعفة للجهد.
- نظراً لكبر مقاومة الڤولتميتر فإنه لا يسحب تياراً يذكر من الدائرة الأصلية عند توصيله على التوازى مع جزء الدائرة المطلوب قياس فرق الجهد عليه.
- الأوميتر : جهاز يستخدم لقياس قيمة مقاومة مجهولة.
- الأوميتر هو ميكرو أميتر يوصل على التوالى مع مقاومة ثابتة وأخرى متغيرة وعمود جاف قوته الدافعة 1.5V ، فينحرف مؤشره إلى نهاية التدريج إذا تلامس طرفاه بدون مقاومة. وإذا أدخلت مقاومة بين طرفيه تقل شدة التيار ويقل إنحراف موشره، وهو معاير لقراءة قيمة المقاومة مباشرة.

القوانين والعلاقات الهامة :

- تتعين كثافة الفيض المغناطيسى B عند نقطة بعدها العمودى d متر عن سلك مستقيم يمر به تيار شدته I أمبير من العلاقة : $B = \frac{\mu I}{2\pi d}$ weber/m^2 (or Tesla)

- تتعين كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى نصف قطره r وشدة التيار I المار فيه وعدد لفاته N من العلاقة :

$$B = \frac{\mu NI}{2r} \text{ (Tesla)}$$

- تتعين كثافة الفيض المغناطيسى عند أى نقطة على المحور داخل ملف لولبى عدد لفاته N وطوله ع ويمر به تياركهربى B من العلاقة :

$$B = \frac{\mu IN}{ع} \text{ (Tesla)}$$

- تتعين القوة المؤثرة على سلك طوله ع يحمل تياراً كهربياً I وموضوعاً فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه B من العلاقة :

$$F = B\ I\ ع \sin\theta$$

حيث θ هى الزاوية المحصورة بين السلك واتجاه المجال المغناطيسى.

- يعطى عزم الازدواج المؤثر على ملف مستطيل مساحة وجهه A وعدد لفاته N يمر به تيار كهربى I موضوع موازياً لمجال مغناطيسى كثافة فيضه B بالعلاقة.

$$\tau = B\ I\ A\ N = \vec{m}_d B \quad Nm$$

حيث $\vec{m}_d = I\ A\ N$ هو عزم ثنائي القطب المغناطيسى عمودياً على مستوى الملف.

- تتعين مقاومة مجزىء التيار فى الأميتر من العلاقة $R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$ ، حيث R_s مقاومة مجزىء التيار، I_g أقصى تيار يتحمله ملف الجلفانومتر، R_g مقاومة ملف الجلفانومتر، I شدة التيار الكلية.

- تتعين المقاومة المضاعفة للجهد فى الفولتميتر من العلاقة $R_m = \frac{V - V_g}{I_g}$

حيث R_m المقاومة المضاعفة للجهد، V الجهد الكلى ، V_g فرق الجهد على ملف الجهاز، I_g شدة التيار التى تلزم لجعل مؤشر الجلفانومتر ينحرف إلى نهاية التدريج.

اســـــئلة وتمـارين

أولا: أسئلة المقال

١- ما هى العوامل التى تتوقف عليها كثافة الفيض المغناطيسى فى كل حالة من الحالات الآتية :

(أ) حول سلك مستقيم يمر به تيار كهربى.

(ب) عند مركز ملف دائرى يمر به تيار كهربى.

(جـ) عند أى نقطة على المحور داخل الملف اللولبى الذى يمر به تيار كهربى.

٢- ما هى العوامل التى تتوقف عليها القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى على سلك يمر به تيار كهربى موضوع عمودياً على اتجاه المجال ؟

٣- اثبت أن القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى كثافة فيضه B على سلك مستقيم طوله ع يمر به تيار كهربى I موضوع عمودياً على اتجاه المجال تتعين من العلاقة.

$$F = B\ I\ ع$$

٤- اثبت أن عزم الأزدواج المؤثر على ملف عدد لفاته N ومساحة مقطعة A يمر به تيار كهربى شدته I موضوع موازياً لمجال مغناطيسى منتظم كثافه فيضه B تعطى من العلاقة.

$$\tau = B\ I\ A\ N$$

٥ - صف مع الرسم تركيب الجلفانومتر الحساس موضحاً فكرة عمله.

٦ - اشرح كيف يمكن تحويل الجلفانومتر الحساس إلى أميتر مع استنتاج العلاقة المطلوبة.

٧ - اشرح كيف يمكن تحويل الجلفانومتر الحساس إلى ڤولتميتر مع استنتاج العلاقة المستخدمة.

٨ - علل لما يأتى :

(أ) وجود اسطوانة من الحديد المطاوع داخل ملف الجلفانومتر.

(ب) يتصل ملف الجلفانومتر ذى الملف المتحرك من أسفل بسلك زنبركى.

(جـ) عند استخدام الجلفانومتر ذى الملف المتحرك كفولتميتر توصل مقاومة كبيرة على التوالى مع ملف الجلفانومتر.

(د) يدمج الأميتر على التوالى فى الدائرة بينما يدمج الفولتميتر على التوازى.

(هـ) توصل مقاومة عيارية بالأوميتر.

(و) يجب أن تكون القوة الدافعة الكهربية للعمود المتصل بالأوميتر ثابتة.

٩ - ماذا يقصد بكل من :

المقاومة المضاعفة للجهد - مجزىء التيار.

وما فائدة كل منهما ؟ استنبط القانون الخاص بكل منهما.

١٠ - اشرح كيف يمكنك استخدام الجلفانومتر ذى الملف المتحرك فى قياس كل من شدة التيار الكهربى - القوة الدافعة الكهربية - المقاومة الكهربية.

ثانيا: المسائل

١ - ملف مساحة مقطعه $0.2m^2$ وضع عمودياً على خطوط فيض مغناطيسى منتظم كثافته $0.04Weber/m^2$ احسب الفيض المغناطيسى الذى يمر خلال الملف. (0.008 Weber).

٢ - سلك طوله 10 cm يمر به تيار شدته 5A وضع فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه 1 Tesla. احسب القوة المؤثرة على السلك عندما يكون :

(أ) السلك فى وضع عمودى على المجال المغناطيسى (0.5 N)

(ب) السلك يصنع زاوية 45° مع المجال. (0.356 N)

(جـ) السلك موازٍ لخطوط المجال المغناطيسى (صفر)

٣ - سلك مستقيم قطره 2 mm يمر به تيار شدته 5A احسب كثافة الفيض المغناطيسى على بعد 0.2 m (5×10^{-6}Tesla)

٤- ملف دائرى نصف قطره 0.1m يمر به تيار شدته 10A احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركزه (علما بأن الملف يتكون من لفة واحدة) .

($2\pi \times 10^{-5}$Tesla)

٥- ملف لولبى طوله 50cm عدد لفاته 4000 لفة يمر به تيار شدته 2A احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بداخله وعلى محوره. (0.02Tesla)

٦- ملف مستطيل طوله 12cm وعرضه 10cm وعدد لفاته 50 لفة يمر به تيار شدته 3A وضع فى مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيض 0.4 Tesla احسب العزم المغناطيسى المؤثر عليه عندما يكون مستوى الملف موازياً للمجال (0.72Nm)

٧- جلفانومتر مساحة مقطع ملفه $(12 \times 5)\ cm^2$ معلق فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه 0.1 Tesla فإذا كان عدد لفاته 600 لفة احسب شدة التيار اللازم لتوليد عـــــزم ازدواج قـــــدره 1Nm

(2.78 A)

٨- ملف عدد لفاته 500 لفة يمر به تيار شدته 10A وضع فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه 0.25Tesla ، فإذا كانت مساحة مقطعه $0.2m^2$ احسب عزم الأزدواج المؤثر عليه عندما تكون الزاوية بين العمودى على الملف والمجال 30°

(125 Nm)

٩ - ملف أميتر لا يتحمل تياراً أكبر من 40 mA فإذا كانت مقاومة ملفه 0.5 Ω يراد استخدامه لقياس تيار شدته 1A كم تكون مقاومة مجزىء التيار اللازم لذلك؟

(0.021 Ω)

١٠ - جلفانومتر يمر به تيار شدته 0.02A لينحرف مؤشره إلى نهاية التدريج، وعندئذ يكون الفرق فى الجهد بين طرفيه 5V ، كم تكون قيمة المقاومة المضاعفة للجهد التى تجعله صالحاً لقياس فرق جهد قدره 150V ؟

(7250 Ω)

١١- فولتميتر معد لقراءة 150V عند انحراف مؤشره إلى نهايته، فإذا كانت مقاومة ملفه 50Ω ، وكانت شدة التيار المار فيه 4×10^{-4} A ، احسب قيمة المقاومة المضاعفة للجهد اللازمة لذلك.

(374950 Ω)

١٢- جلڤانومتر مقاومة ملفه 0.1Ω ويقرأ عند نهاية تدريجه تياراً شدته 5A أردنا زيادة قراءته بمقدار 10 أمثال. ما قيمة مقاومة مجزىء التيار اللازمة؟

(0.0111 Ω)

١٣- أميتر مقاومته 30 Ω احسب قيمة مقاومة مجزىء التيار اللازم لإنقاص أقصى قراءة إلى الثلث (انقاص الحساسية). وما مقدار المقاومة الكلية المكافئة للأميتر والمجزىء حينئذ؟

(15 Ω , 10 Ω)

١٤- جلڤانومتر مقاومته 54 Ω إذا وصل بمجزىء للتيار (أ) يمر فى الجلڤانومتر 0.1 من التيار الكلى، أما إذا وصل بمجزىء آخر (ب) فإن التيار الذى يمر فيه يصبح 0.12 من التيار الكلى، أوجد مقدار كل من المقاومتين (أ) ، (ب).

(6 Ω ، 7.63 Ω)

١٥- جلڤانومتر ذو ملف متحرك مقاومته 50 Ω ينحرف مؤشره إلى نهاية تدريجه عندما يمر به تيار شدته 0.5A كيف يمكن تحويله بحيث يقيس :

(أ) فروق فى الجهد أقصاها 200V (توصل مقاومة 350 Ω على التوالى).

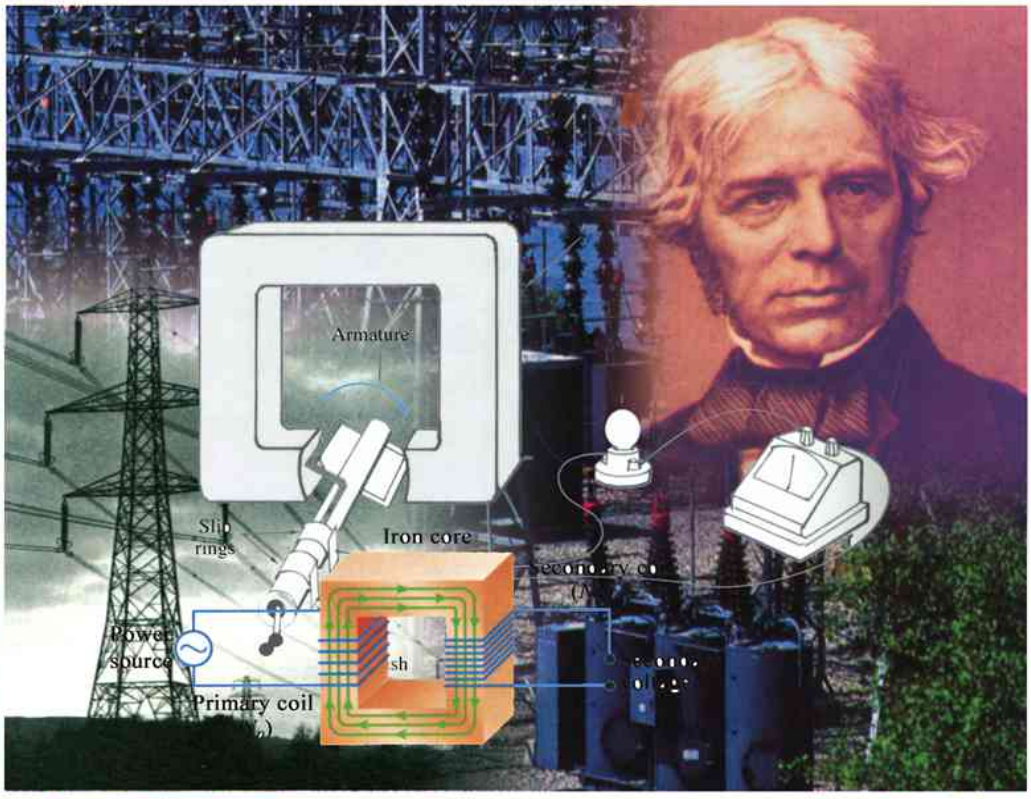
(ب) تيار كهربى شدته 2A (توصل مقاومة 16.6 Ω على التوازى).

١٦- مللى أميتر مقاومته 5 Ω أقصى تيار يتحمله ملفه 15 mA يراد تحويله إلى أوميتر باستخدام عمود قوته الدافعة الكهربية 1.5 V ومقاومته الداخلية 1 Ω ، احسب قيمة المقاومة العيارية اللازمة والمقاومة الخارجية التى تجعل مؤشره ينحرف إلى 10mA وكذلك شدة التيار المار به إذا وصل بمقاومة خارجية مقدارها 400 Ω

(3 mA ، 50 Ω ، 94 Ω)

الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية

الوحدة الرابعة



الفصل الحادى عشر : الحث الكهرومغناطيسى

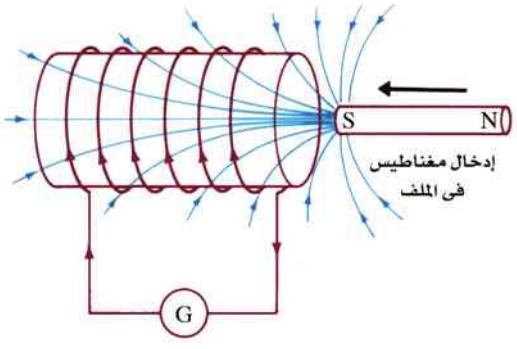
الفصل الحادى عشر
الحث الكهرومغناطيسى

مقدمة :

رأينا أن مرور تيار كهربى فى موصل يسبب مجالاً مغناطيسياً. وبمجرد اكتشاف أورستد **Oersted** للارتباط بين المجالات الكهربية والمغناطيسية، ظهر تساؤل: هل من الممكن أن يولد مجال مغناطيسى تيارًا كهربيًا ؟، وهو ما أجاب عليه فاراداى **Faraday** فى أحد أعظم الانتصارات فى الفيزياء، وهو اكتشاف الحث الكهرومغناطيسى **Electromagnetic Induction**، الذى تبنى عليه فكرة عمل وتشغيل معظم الأجهزة الكهربية كالمولدات والمحولات الكهربية.

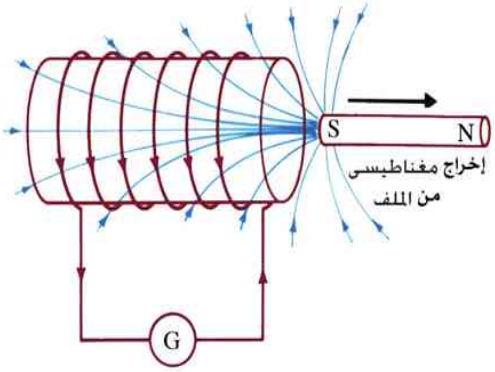
تجربة فاراداى :

قام فاراداى بإعداد ملف من سلك من النحاس، لفاته معزولة عن بعضها البعض، وعندما انتهى من إعداده، قام بتوصيل طرفيه بجلفانومتر حساس صفر تدريجه فى المنتصف شكل (١١-١). وعندما أدخل فاراداى مغناطيساً فى الملف، لاحظ أثناء ادخاله أن مؤشر الجلفانومتر ينحرف انحرافاً لحظياً فى اتجاه معين، وعندما أخرج فاراداى المغناطيس من الملف لاحظ أثناء اخراجه أن مؤشر الجلفانومتر ينحرف فى الاتجاه المضاد. هذه الظاهرة أطلق عليها اسم "الحث الكهرومغناطيسى". حيث تتولد قوة دافعة كهربية مستحثة، Induced emf وكذلك يتولد تيار كهربى



شكل (١١-١أ)

عند دخول المغناطيس



شكل (١١-١ب)

عند خروج المغناطيس

مستحث فى الملف أثناء ادخال المغناطيس فى الملف أو اخراجه منه، بحيث يكون رد الفعل فى إتجاه يعارض الفعل، فإن كان المغناطيس يدخل فإن ا لمجال المغناطيسى المستحث يعمل على مقاومة الإدخال، وإن كان المغناطيس يخرج فإن ا لمجال المغناطيسى المستحث يعمل على استبقاء المغناطيس أو جذبه للداخل.

وبعد تفكير توصل فاراداى إلى أن القوة الدافعة الكهربية المستحثة وكذلك التيار الكهربى المستحث يتولدان فى الدائرة كنتيجة لقطع لفات السلك خطوط الفيض المغناطيسى أثناء حركة المغناطيس.

قانونا فاراداى

ومن خلال تجارب عديدة أمكن لفاراداى استخلاص ما يلى :

١ - الحركة النسبية بين الموصل وا لمجال المغناطيسى الذى يتغير فيها المعدل الزمنى الذى يقطع به الموصل خطوط الفيض تولد قوة دافعة مستحثة فى الموصل. ويتوقف اتجاهها على إتجاه حركة الموصل.

٢ - يتناسب مقدار القوة الدافعة المستحثة طردياً مع المعدل الزمنى الذى يقطع به الموصل خطوط الفيض. أى أن :

$$emf \propto \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t}$$

حيث emf متوسط القوة الدافعة المستحثة ، $\Delta \phi_m$ التغير فى خطوط الفيض المقطوعة خلال الزمن Δt

٣ - مقدار القوة الدافعة المستحثة يتناسب طردياً مع عدد لفات الملف الذى يقطع خطوط الفيض أى أن :

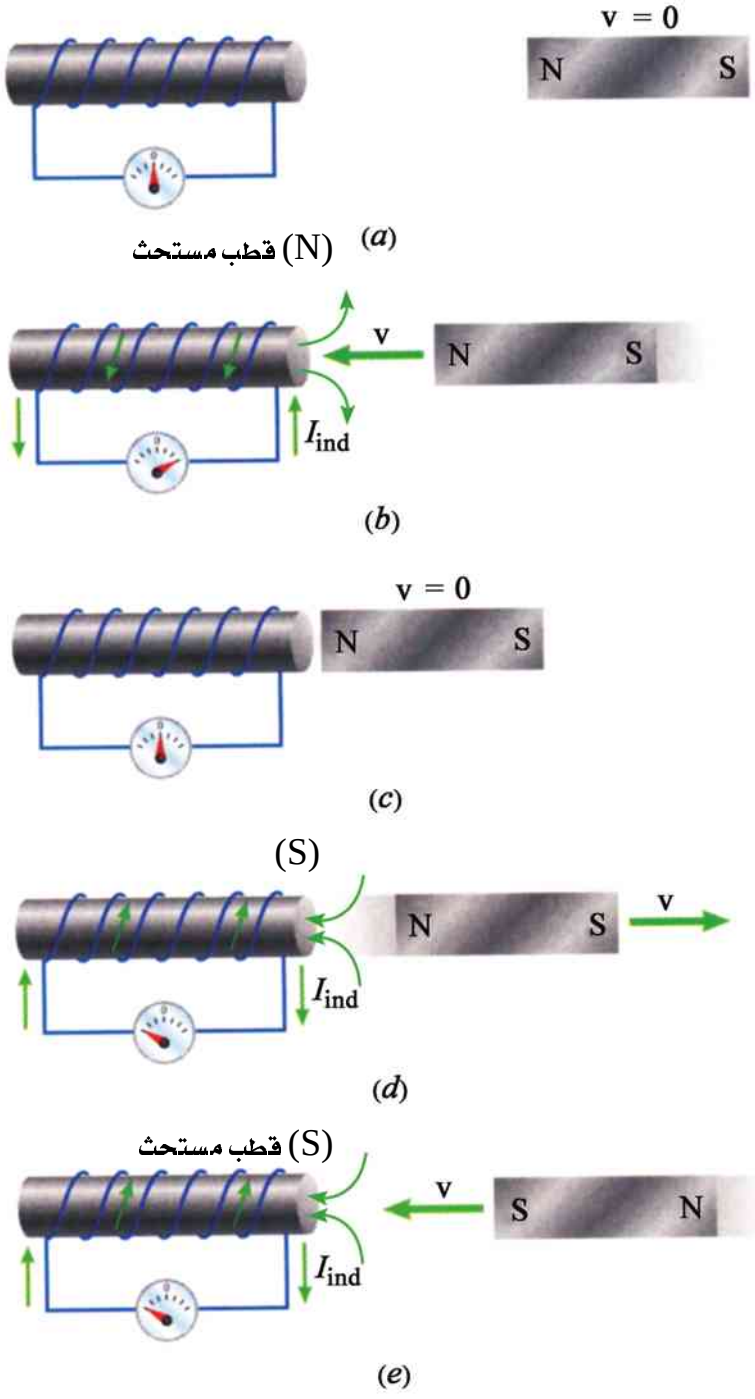
$$emf \propto N$$

وبالتالى يمكن بتحليل النتائج السابقة استنتاج العلاقة :

$$emf = - N \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} \qquad (11 - 1)$$

وهو ما يعرف بقانون فاراداى للحث الكهرومغناطيسى.

تدل الاشارة السالبة فى هذا القانون على أن اتجاه القوة الدافعة المستحثة (وأيضاً اتجاه التيار المستحث) يعاكس التغير المسبب له. وهو ما يعرف بقاعدة لنز **Lenz's Rule**



شكل (١١-٢)

قاعدة لنز

قاعدة لنز Lenz's Rule :

تنص قاعدة لنز على ما يلى :

يكون اتجاه التيار الكهربى المستحث بحيث يعاكس التغير المسبب له.

ويوضح شكل (١١ -٢) تطبيقاً مباشراً لقاعدة لنز. فعند تقريب القطب الشمالى للمغناطيس من الملف، يمر التيار الكهربى المستحث المتولد فى الملف فى اتجاه بحيث يكون قطباً شمالياً عند طرف الملف المواجه للقطب الشمالى للمغناطيس. فتعمل قوة التنافر بين القطبين المتشابهين على مقاومة حركة تقريب هذا القطب.

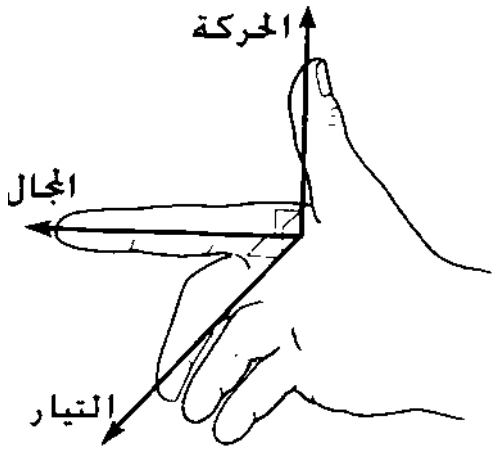
وعند إبعاد القطب الشمالى للمغناطيس عن الملف يكون اتجاه التيار المستحث المتولد فى الملف فى اتجاه بحيث يكون قطباً جنوبياً. فتعمل قوة التجاذب بين القطبين المختلفين (شمالى وجنوبى) على الاحتفاظ بالمغناطيس، أى مقاومة حركة إبعاد القطب المؤثر.

اتجاه التيار المستحث فى سلك مستقيم :

بين فاراداى فى واحدة من تجاربه العديدة أن التيار الكهربى المستحث فى سلك مستقيم يسرى فى إتجاه عمودى على المجال المغناطيسى. وبعد ذلك بعدة سنوات اختار فليمنج هذه التجربة لوضع قاعدة بسيطة تربط بين إتجاه حركة السلك واتجاه المجال واتجاه التيار المستحث. تعرف هذه القاعدة باسم قاعدة اليد اليمنى لفليمنج وهى :

قاعدة اليد اليمنى لفليمنج Fleming's Right Hand Rule:

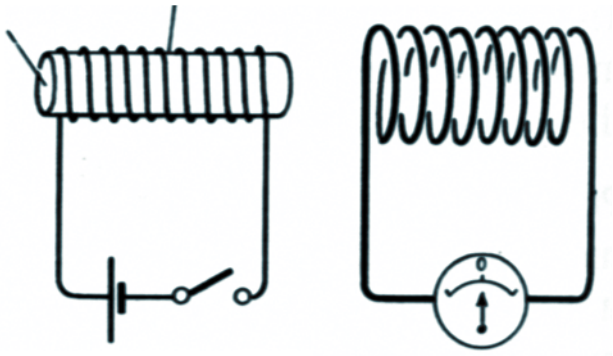
اجعل أصابع اليد اليمنى الابهام والسبابة والوسطى (ومعه باقى الأصابع) متعامدة على بعضها البعض بحيث تشير السبابة إلى اتجاه المجال والابهام إلى اتجاه الحركة، وعندئذ يشير الأوسط (ومعه باقى الأصابع) إلى اتجاه التيار المستحث (شكل ١١-٣).



شكل (١١-٣)

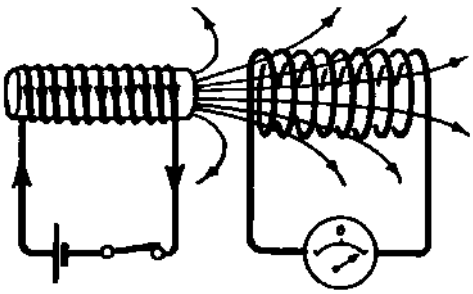
قاعدة اليد اليمنى لفليمنج

الحث المتبادل Mutual Induction بين ملفين



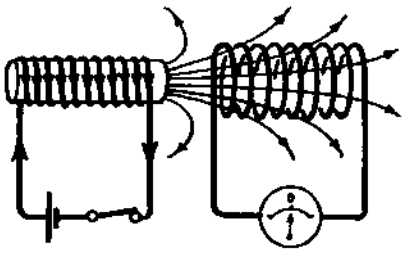
شكل (١١-٤أ)

أ) فى حالة عدم وجود تيار فى الملف الأول لا توجد قوة دافعة كهربية فى الملف الثانى



شكل (١١-٤ب)

ب) لحظة غلق دائرة الملف الأول فإن قوة دافعة كهربية تتولد فى الملف الثانى



شكل (١١-٤جـ)

جـ) بعد استقرار الفيض المغناطيسى فإن التيار فى الملف الثانى ينعدم

إذا وضع ملفان أحدهما داخل الآخر أو أحدهما بالقرب من الآخر كما فى شكل (١١-٤) فإن تغير شدة التيار الكهربى فى أحدهما يولد قوة دافعة كهربية مستحثة فى الآخر. وتبعاً لقانون فاراداى، تتناسب القوة الدافعة الكهربية المستحثة مع معدل التغير فى الفيض المغناطيسى المار به. ونظراً لأن الفيض المغناطيسى يتناسب طردياً مع شدة التيار فى الملف الأول. فإن القوة الدافعة الكهربية المستحثة تتناسب مع معدل التغير فى شدة التيار فى الملف الأول.

ولهذا يكون :

$$(emf)_2 \propto \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$(emf)_2 = - M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \qquad (11 - 2)$$

حيث **M** معامل الحث المتبادل بين الملفين. ووحدته تكافىء VsA^{-1} وهو ما يسمى بالهنرى **Henry**. فالهنرى هو وحدة قياس معامل الحث بصفة عامة.

وتدل الاشارة السالبة - كما تقتضى قاعدة - لنز على أن اتجاه القوة الدافعة المستحثة أو اتجاه التيار المستحث يكون بحيث يقاوم التغير المسبب له.

ويتوقف معامل الحث المتبادل بين ملفين على العوامل الآتية :

١ - وجود قلب من الحديد **Core** داخل الملفين.

٢ - حجم وعدد لفات الملفين **Coils**.

٣ - المسافة الفاصلة بينهما.

ويعد ا لمحول الكهربى أوضح مثال للحث المتبادل.

تجربة دراسة الحث المتبادل بين ملفين

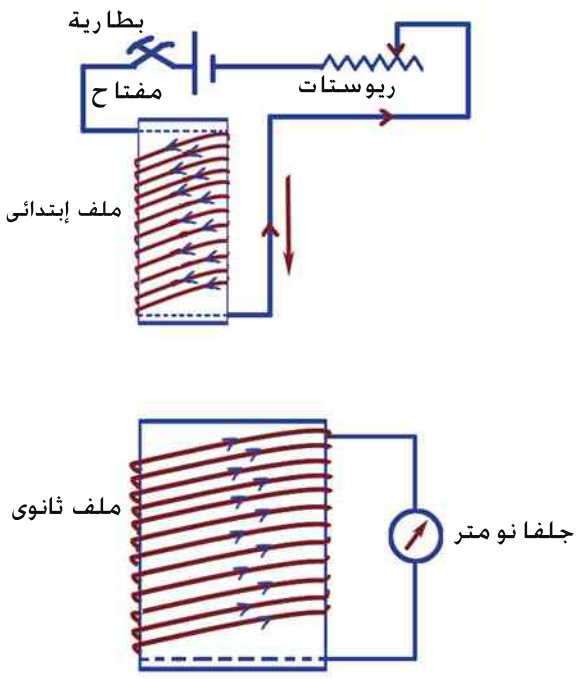
ويمكن دراسة الحث المتبادل بين ملفين تجريبياً كما يلى :

يوصل أحد الملفين ببطارية ومفتاح وريوستات. وعندئذ يعرف هذا الملف بالملف الابتدائى. ويوصل الملف الثانى بجلفانومتر حساس، صفره فى المنتصف، ويعرف هذا الملف بالملف الثانوى شكل (١١-٥). ثم نتبع الخطوات التالية:

١ - تقفل دائرة الملف الابتدائى. وبتقريب (أو ادخال) الملف الابتدائى من (أو فى) الملف الثانوى، يلاحظ إنحراف مؤشر الجلفانومتر فى إتجاه معين مما يدل على أن قوة دافعة مستحثة تولدت فى الملف الثانوى، نتيجة لتغير خطوط الفيض المغناطيسى التى تمر بلفات هذا الملف. وعند إبعاد (أو إخراج) الملف الابتدائى عن (أو من) الملف الثانوى، ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه مضاد.

٢ - يتم ادخال الملف الابتدائى فى الملف الثانوى، وتزاد شدة التيار المار فى الملف الابتدائى، فينحرف مؤشر الجلفانومتر فى الملف الثانوى فى إتجاه معين، وعند إنقاص شدة التيار المار فى الملف الابتدائى ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى الإتجاه المضاد. مما يدل على تولد قوة دافعة مستحثة فى الملف الثانوى أثناء زيادة شدة التيار فى الملف الابتدائى أو أثناء إنقاصه.

٣ - مع وجود الملف الإبتدائى داخل الملف الثانوى، تقفل دائرة الملف الابتدائى. عندئذ ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى إتجاه معين، ثم تفتح دائرة الملف الابتدائى، وعندئذ ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى إتجاه مضاد، مما يدل على أن قوة دافعة مستحثة تتولد فى الملف الثانوى أثناء قفل الدائرة أو فتحها. وبتحليل الملاحظات السابقة نجد ما يلى :



شكل (١١-٥)
دراسة الحث المتبادل بين ملفين

١ - **ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه معين فى الحالات الآتية :**

أ) **أثناء تقريب أو ادخال الملف الابتدائى فى الملف الثانوى.**

ب) **أثناء زيادة شدة التيار فى الملف الابتدائى.**

جـ) **عند قفل الدائرة الابتدائية أثناء وجود الملف الابتدائى داخل (أو قرب) الملف الثانوى.**

تتولد فى جميع هذه الحالات قوة دافعة كهربية فى الملف الثانوى عند حدوث أى تغير موجب فى الفيض المغناطيسى الذي يقطعه الملف الثانوى. ويكون إتجاه القوة الدافعة الكهربية المستحثة وإتجاه التيار المستحث فى إتجاه عكسى (أى فى عكس اتجاه التيار بالملف الابتدائى)،

حتى يكون المجال المغناطيسى المستحث فى اتجاه مضاد ليقاوم زيادة المجال المغناطيسى المؤثر.

٢ - ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى الإتجاه المضاد فى الحالات الآتية :

أ) أثناء إبعاد أو إخراج الملف الابتدائى من الملف الثانوى.

ب) أثناء نقص شدة التيار فى الملف الابتدائى.

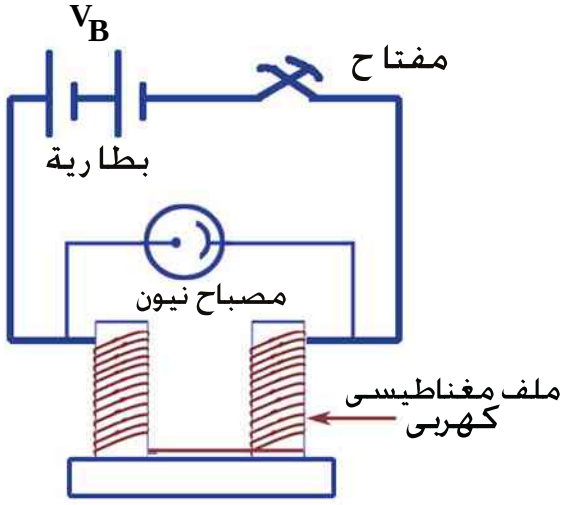
جـ) عند فتح الدائرة الابتدائية أثناء وجود الملف الابتدائى داخل (أو قرب) الملف الثانوى.

وهى الحالات التى تتناقص فيها شدة المجال المغناطيسى المؤثر. ويكون اتجاه القوة الدافعة الكهربية المستحثة وإتجاه التيار المستحث فى إتجاه طردى، حتى يكون المجال المغناطيسى الناشىء عنه فى نفس الاتجاه ليقاوم تناقص المجال المغناطيسى المؤثر.

وهذه الملاحظات توضح قاعدة لنز حيث يكون اتجاه التيار المستحث بحيث يقاوم التغير المسبب له.

الحث الذاتى Self Induction لملف :

يمكن إدراك ما نعنيه بالحث الذاتى لملف بتوصيل ملف مغناطيس كهربى قوى (عدد لفاته كبير) على التوالى مع بطارية ومفتاح ليمر به تيار كهربى كما فى شكل (١١-٦). يتولد عن مرور التيار الكهربى فى الملف مجال مغناطيسى قوى حيث تعمل كل لفة كمغناطيس قصير بحيث تقطع اللفات المجاورة خطوط الفيض المغناطيسى له. عند فتح الدائرة يلاحظ مرور شرر كهربى بين طرفى المفتاح. يفسر هذا بأن قطع التيار الكهربى فى دائرة الملف يؤدى إلى تلاشى المجال المغناطيسى للفاته،



شكل (١١-٦)

توضيح أثر الحث الذاتى فى ملف

فيتغير المعدل الزمني الذى تقطع به كل لفة خطوط الفيض، فتتولد فيها قوة دافعة مستحثة.

والقوة الدافعة المستحثة فى لفات الملف ككل ناتجة عن الحث الذاتى للملف نفسه.

هذه القوة الدافعة المستحثة الناشئة عن الحث الذاتى للملف عند قطع التيار فيه - أى عند فتح الدائرة - تعمل تبعاً لقاعدة لنز على توليد تيار تأثيرى فى نفس إتجاه التيار الأصلى مما يؤدى إلى ظهور شرر عند طرفى المفتاح.

وعندما يكون عدد لفات الملف كبيراً، تكون القوة الدافعة المستحثة عند قطع التيار emf_1 أكبر كثيراً من القوة الدافعة الكهربية (V_B) للبطارية، وقد تسبب توهج مصباح نيون يوصل على التوازى بين طرفى الملف (يتطلب مصباح النيون لتوهجه جهداً يصل إلى حوالى 180 فولت).

ونظراً لأن القوة الدافعة الكهربية المستحثة تتناسب طردياً مع المعدل الزمنى لتغير الفيض المغناطيسى ـ الذى يتناسب بدوره مع المعدل الزمنى لتغير التيار فى الملف ـ فإن القوة الدافعة المتولدة بالحث الذاتى تتناسب طردياً مع المعدل الزمنى لتغير التيار فى الملف أى أن :

$$(emf)_1 \propto \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$\therefore (emf)_1 = - L \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \qquad (11 - 3)$$

حيث **L** ثابت التناسب، ويعرف بمعامل الحث الذاتى للملف. وتدل الإشارة السالبة على أن القوة الدافعة المستحثة تعاكس التغير المسبب لها (قاعدة لنز). ويعبر عن L بالعلاقة

$$L = - \frac{emf}{\Delta I / \Delta t} \qquad (11 - 4)$$

أى أن معامل الحث الذاتى للملف يقدر بالقوة الدافعة الكهربية المستحثة، عندما يكون المعدل الزمنى لتغير التيار يساوى الوحدة (أى عندما يتغير التيار بمقدار أمبير واحد فى الثانية) ويقاس الحث الذاتى لملف بوحدة تسمى الهنرى.

الهنرى Henry :

هو معامل الحث الذاتى لملف حين تتولد قوة دافعة مستحثة تساوى فولت واحد عندما يتغير التيار بمعدل أمبير واحد فى الثانية.

أى أن :

$$\text{واحد هنرى} = \frac{\text{واحد فولت . ثانية}}{\text{أمبير}}$$

$$1H = Vs/A$$

العالم هنرى

ويتوقف معامل الحث الذاتى لملف على شكله الهندسى، وعلى عدد لفاته، وعلى المسافة بين اللفات، أى على طول الملف، وعلى نفاذية القلب المغناطيسية.

ومن تطبيقات الحث الذاتى إضاءة المصباح الفلورسنت، حيث يتم تفريغ الطاقة المغناطيسية المختزنة فى الملف فى أنبوبة مفرغة من الهواء، وبها غاز خامل، مما يسبب تصادمات بين ذراته، تؤدى إلى تأينها واصطدامها مع سطح الأنبوبة المطلى بالمادة الفلورسية، مما يؤدى إلى إنبعاث الضوء المرئى. كما يتم الاستفادة من ظاهرة الحث الكهرومغناطيسى فى عمل جهاز يسمى ملف الحث (رومكورف) الذى يستخدم كملف إشعال فى آلات الاحتراق الداخلى كالسيارات.

التيارات الدوامية : Eddy Currents

إذا تم تغيير عدد خطوط الفيض المغناطيسى التى تخترق قطعة معدنية، تتولد فيها تيارات مستحثة، تسمى التيارات الدوامية. والتغير فى عدد خطوط الفيض المغناطيسى المقطوعة يتم إما بتحريك القطعة المعدنية فى مجال مغناطيسى ثابت، وإما بتعريض القطعة المعدنية لمجال مغناطيسى متغير، وليكن المجال المغناطيسى الناشىء عن تيار متردد.

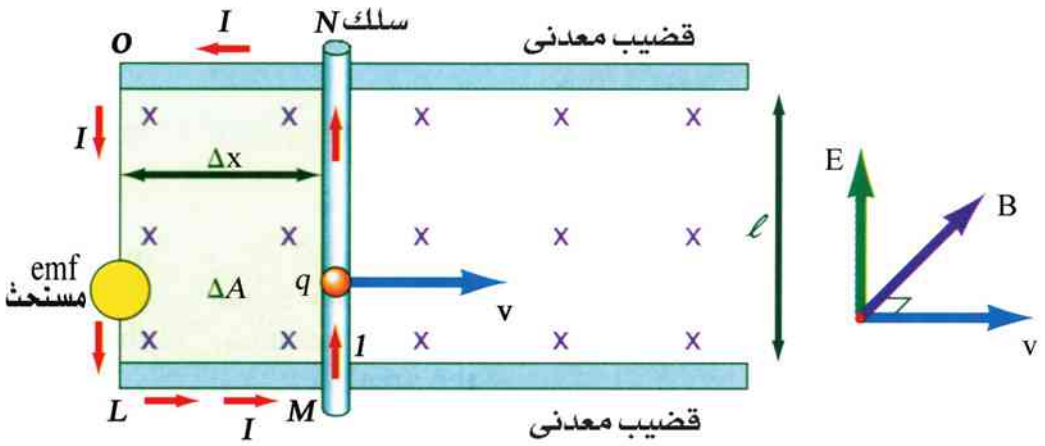
ويستفاد من التيارات الدوامية فى صهر الفلزات فيما يسمى بأفران الحث **Induction Furnaces**.

القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى سلك مستقيم متحرك :

إذا وضع سلك طوله ع عموديا على مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه **B** (اتجاهه

عمودى على الورقة إلى الداخل) (شكل ١١-٧)، وتم تحريك السلك فى اتجاه عمودى على المجال بسرعة **v**، بحيث أزيح مسافة قدرها **Δx** فى زمن قدره **Δt**، فإن التغير في المساحة يكون:-

$$\Delta A = \ell \, \Delta x$$



شكل (١١-٧)

توليد e.m.f مستحثة فى سلك مستقيم

ويكون التغير فى الفيض هو :

$$\Delta \phi_m = B \, \Delta A = B \, \ell \, \Delta x$$

وتتعين القوة الدافعة الكهربية عندئذ من العلاقة :

$$emf = - \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t}$$

$$emf = - \frac{B \, \ell \, \Delta x}{\Delta t} = - B \, \ell \, v$$

حيث **v** هى السرعة التى يتحرك بها السلك. والإشارة السالبة ضرورية لمراعاة قاعدة لنز. وبالتالى يكون مقدار القوة الدافعة هى :

$$emf = B \ell v \qquad (11 - 5)$$

وإذا كانت الزاوية بين إتجاه السرعة التى يتحرك بها السلك واتجاه كثافة الفيض هى θ فإن :

$$emf \qquad (11 - 6)$$

$\varepsilon = B\ell v \sin\theta$

المولد الكهربى أو الدينامو AC Generator - Alternator - Dynamo هو وسيلة أو جهاز لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية، عندما يدور ملفه فى مجال مغناطيسى. ويمكن نقل التيار المستحث بواسطة أسلاك لمسافات طويلة.

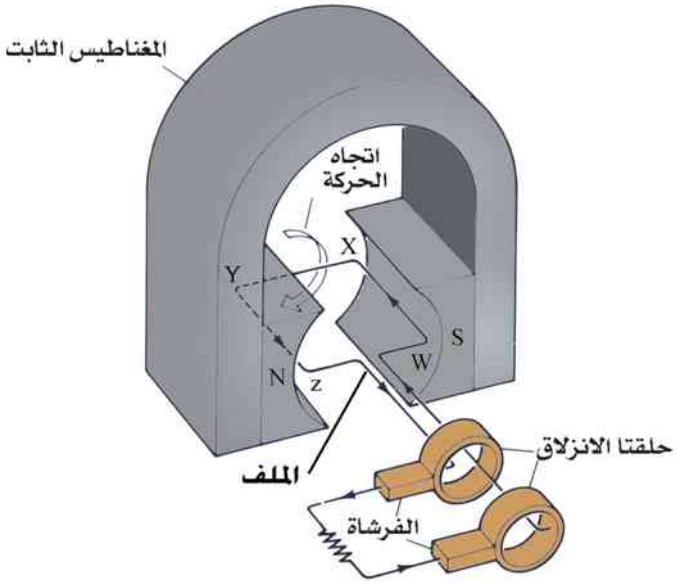
ويتركب المولد الكهربى البسيط كما فى الشكل (١١-٨) من أجزاء ثلاثة هى :

(أ) المغناطيس الثابت Field Magnet (ب) الملف Armature (Loop)

(جـ) حلقتا انزلاق

(د) Slips

فرشتان Brushes



الشكل (١١-٨)

رسم مبسط للدينامو أى مولد التيار المتردد

يمكن أن يكون المغناطيس الثابت مغناطيساً دائماً أو مغناطيساً كهربياً. والملف إما أن يكون ملفاً من لفة واحدة، أو عدة لفات، بين قطبى المغناطيس وتتصل بنهايتيه حلقتان معدنيتان تدوران مع دوران الملف فى المجال المغناطيسى. التيارات المستحثة فى الملف تمر إلى الدائرة الخارجية خلال فرشتين Brushes من الجرافيت، كل منهما تلامس واحدة من الحلقتين المنزلقتين.

والشكل (١١-٩) يمثل دوران الملف بين قطبى المغناطيس وإتجاه التيار المستحث فى لحظة ما.

نأخذ فى الاعتبار الوجه M من الملف الدوار فى أوضاع مختلفة كما فى شكل (١١-٩).

عندما يدور الملف حول محوره فى دائرة نصف قطرها **r** تكون السرعة الخطية هى :

$$v = \omega r$$

حيث ω السرعة الزاوية لـ emf وتساوى $(2\pi f)$ حيث f هو التردد. وبالتعويض عن **v** فى العلاقة (6–11) نجد أن :

$$\varepsilon = B\ell\ \omega\ r \sin\theta$$

حيث θ هى الزاوية بين اتجاه السرعة التي يتحرك بها السلك واتجاه كثافة الفيض. عندما يكون الملف فى الوضع العمودي علي اتجاه الفيض فإن القوة الدافعة المستحثة تكون صفرا.

ومن ثم تكون القوة الدافعة المستحثة الكلية هى :

$$emf = 2B\ \ell\ \omega\ r \sin\theta$$

لكن مساحة وجه الملف (A) هى :

$$A = (\ell)(2r)$$

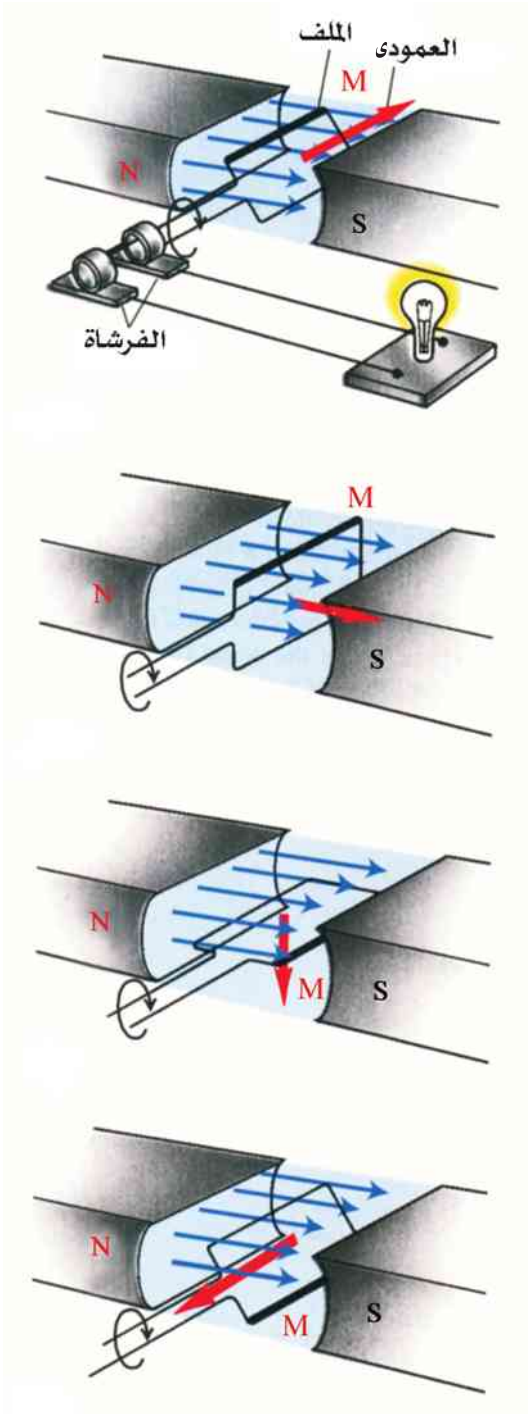
$$emf = BA\ \omega \sin\theta \quad (11-7)$$

وعندما يكون عدد لفات الملف **N** تصبح القوة الدافعة المستحثة اللحظية هى :

$$emf = NBA\omega \sin\theta \quad (11-8)$$

ومن هذه العلاقة نتبين أن القوة الدافعة المستحثة تتغير جيبياً (أى بموجب منحنى الجيب Sine Curve) مع الزمن. وهذه الحقيقة موضحة فى الشكل (١١-١٠). فالقوة الدافعة الكهربية المستحثة تتغير من نهاية عظمى موجبة عند $\theta = 90^\circ$، إلى صفر عند $\theta = zero$

وتكون النهاية العظمى للقوة الدافعة



شكل (١١-٩)

تغير التيار المستحث خلال دورة كاملة للملف

المستحثة هى :

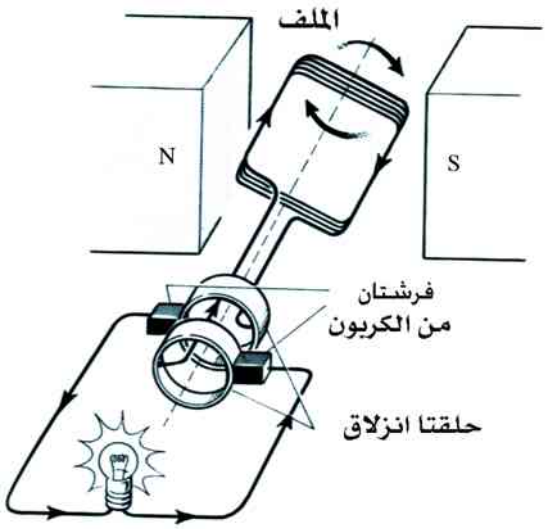
$(emf)_{max} = NBA\ \omega = NBA\ (2\ \pi f)$ نظراً لأن $(\sin 90^\circ = 1)$، ويمكن تعيين القوة الدافعة المستحثة اللحظية بدلالة النهاية العظمى للقوة الدافعة المستحثة بواسطة العلاقة :

$$emf = (emf)_{max} \sin \theta \qquad (11 - 9)$$

ونظراً لأن $\theta = \omega t = 2\ \pi f t$ (11 - 10)

فإن :

$$emf = (emf)_{max} \sin 2\ \pi f t$$



شكل (١١-١٠)
مولد التيار المتردد

ومن هذا الشكل نتبين أن التيار المتولد يغير اتجاهه كل نصف دورة، وأن تغيره يمثله منحنى جيبى (شكل ١١-١٠)، ومنه أيضا يتضح مفهوم التردد f وخلال ذبذبة كاملة تزداد شدة التيار من الصفر إلى نهاية عظمى، ثم تتناقص إلى الصفر، ثم يعكس التيار الكهربى اتجاهه فى الدائرة ويأخذ في الزيادة حتى يصل إلى نهاية عظمى، ثم يأخذ فى التناقص حتى يصل إلى الصفر مرة أخرى. ويقال عندئذ أن التيار قد أتم ذبذبة كاملة. ويكون الملف قد أتم بدوره دورة كاملة. وعدد الذبذبات فى الثانية f هو التردد. ومن المعروف أن تردد التيار المنزلى يساوى 50 ذبذبة فى الثانية.

مثال :

ملف فى مولد كهربى بسيط للتيار المتردد عدد لفاته 100 لفة مساحة مقطع كل منها $0.21 m^2$ يدور الملف بتردد 50 دورة فى الثانية فى مجال مغناطيسى ثابت كثافة فيضه $0.3 Weber/m^2$ ما النهاية العظمى للقوة الدافعة المستحثة وما قيمتها عندما تكون الزاوية بين إتجاه السرعة وكثافة الفيض 30°؟

الحل :

$$(emf)_{max} = NBA\ \omega = NBA\ (2\ \pi f)$$

$$= 100 \times 10^{-3} \times 0.21 \times 2 \times \frac{22}{7} \times 50 = 6.6 \text{ V}$$

النهاية العظمى للقوة الدافعة المستحثة المتولدة تساوى 6.6V

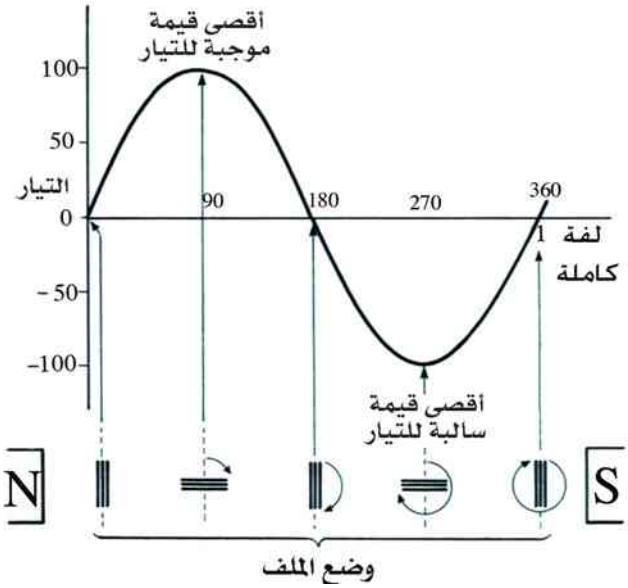
$$emf = (emf)_{max} \sin \theta = 6.6 \times \sin 30 = 6.6 \times \frac{1}{2} = 3.3 \text{ V}$$

وينبغى أن نتذكر أن التيار المستحث يتناسب طردياً مع القوة الدافعة المستحثة.

لهذا يكون التيار المستحث اللحظى هو :

$$I = I_{max} \sin (2 \pi f t)$$

ويبلغ التيار المستحث نهايته العظمى عندما تبلغ القوة الدافعة المستحثة نهايتها العظمى وينعدم التيار المستحث عندما تنعدم القوة الدافعة المستحثة.



شكل (١١-١٠ب)

العلاقة البيانية لشدة التيار مع زاوية الدوران (المنحنى الجيبى)

القيمة الفعالة للتيار Effective Current

ومما ينبغى الإشارة إليه أن القيمة المتوسطة لتيار متردد تساوى الصفر. إذ أن مقداره يتغير من (I_{max} إلى $-I_{max}$). ومع ذلك تستنفد الطاقة الكهربية كطاقة حرارية نتيجة لحركة الشحنة الكهربية. ويتناسب معدل الطاقة الكهربية المستنفذة طردياً مع مربع شدة التيار. وأفضل طريقة لقياس الشدة الفعالة للتيار المتردد هى إيجاد قيمة التيار الموحد الإتجاه الذى يولد نفس معدل التأثير الحرارى فى مقاومة معينة، أو الذى يولد نفس القدرة التى يولدها التيار المتردد.

هذه القيمة تسمى القيمة الفعالة للتيار I_{eff} وتساوى 0.707 من النهاية العظمى للتيار، أى أن :

$$I_{eff} = 0.707\ I_{max} \qquad (11 - 11)$$

وثمة علاقة مماثلة للقوة الدافعة الكهربية الفعالة هى :

$$(emf)_{eff} = 0.707\ (emf)_{max} \qquad (11 - 12)$$

مثال :

إذا كانت شدة التيار الفعالة فى دائرة 10A وفرق الجهد الفعال هو 240 V فما هى النهاية العظمى لكل من التيار وفرق الجهد ؟

الحل :

$$I_{eff} = 0.707\ I_{max}$$

$$10 = 0.707\ I_{max}$$

ومنها

$$I_{max} = \frac{10}{0.707} = 14.14\ A$$

$$V_{eff} = 0.707\ V_{max}$$

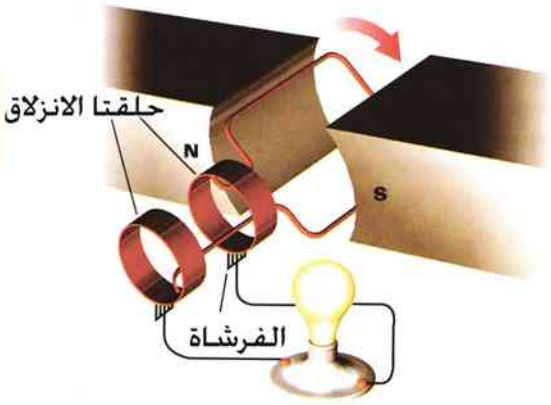
$$240 = 0.707\ I_{max}$$

$$V_{max} = \frac{240}{0.707} = 339.5\ V$$

تقويم التيار الكهربى المتردد فى المولد الكهربى :

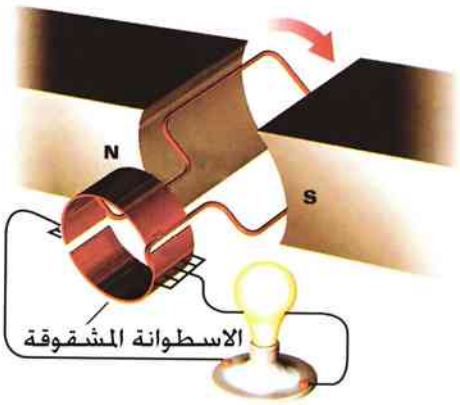
تتطلب كثير من التطبيقات الكهربية استخدام تيار مستمر DC من مصدر تيار متردد AC، مثل تحضير بعض الفلزات بالتحليل الكهربى لمركباتها باستخدام تيار موحد الاتجاه. كما نحتاج إلى تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر فى شاحن التليفون المحمول. ويقتضى هذا تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر (أى تيار فى إتجاه واحد) فيما يعرف بعملية تقويم التيار Rectification. كذلك يمكن تحويل المولد المتردد إلى مولد مستمر DC Generator.

ولهذا الغرض يتم استبدال الحلقتين المعدنيتين بما يسمي «مقوم التيار» Commutator ويتركب مقوم التيار من اسطوانة معدنية جوفاء مشقوقة إلى نصفين 1 , 2 معزولين تماماً عن بعضهما كما فى الشكل (١١-١١). ويلامس نصفى الإسطوانة 1 , 2 أثناء دورانهما فرشاتان F_1 ، F_2. ويراعى أن



شكل(١١-١١أ)

أ- مولد التيار المتردد

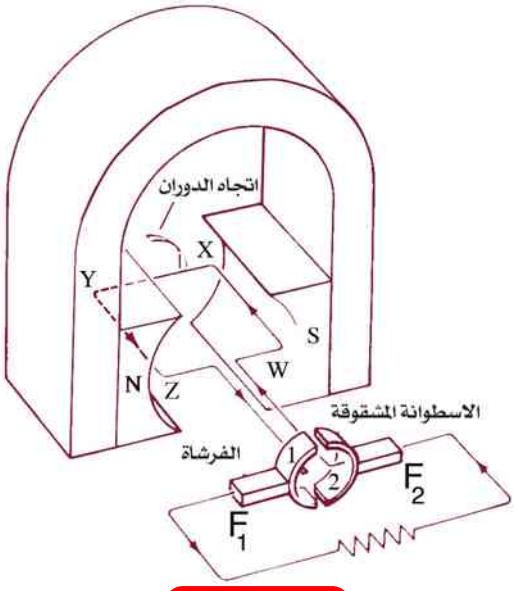


شكل(١١-١١ب)

ب- مولد التيار المستمر

تلامس الفرشاتان الشقين العازلين فى اللحظة التى يكون فيها مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسى، أى فى اللحظة التى تكون فيها القوة الدافعة الكهربية المتولدة فى الملف صفراً.

ولنأخذ فى الإعتبار أن الملف سيبدأ فى الدوران فى الإتجاه المبين بالشكل (١١-١١جـ)، وفى خلال النصف الأول من الدورة ستكون الفرشاة F_1 ملامسة لنصف الاسطوانة 1 والفرشاة F_2 ملامسة لنصف الاسطوانة 2، وأن التيار الكهربى سيمر فى الملف فى الإتجاه (WXYZ)، ويترتب على ذلك أن يمر التيار الكهربى فى الدائرة الخارجية من الفرشاة F_1 إلى الفرشاة F_2 خلال النصف الأول من الدورة.



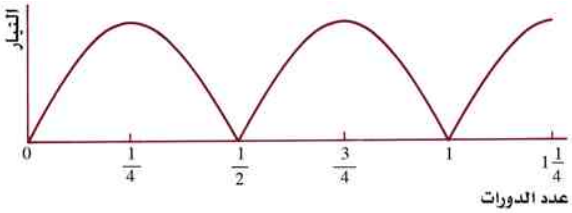
شكل (١١-١١جـ)

ب- استخدام الاسطوانة المشقوقة يوحد اتجاه التيار

وفى النصف الثانى من الدورة يعكس التيار الكهربى اتجاهه فى الملف بمعنى أن التيار الكهربى يمر فى الملف فى الإتجاه (ZYXW). وفى نفس الوقت تصبح الفرشاة F_1 ملامسة لنصف الإسطوانة 2. ويمر التيار فى الدائرة الخارجية من الفرشاة F_1 إلى الفرشاة F_2، وهو نفس اتجاهه فى النصف الأول من الدورة. ومع استمرار الدوران تظل الفرشاة F_1 موجبة والفرشاة F_2 سالبة. لذلك يكون التيار الكهربى فى الدائرة

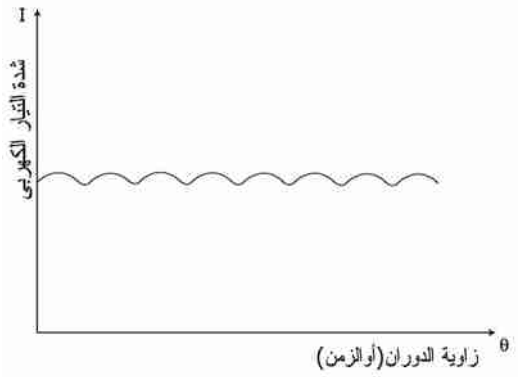
الخارجية موحد الإتجاه دائماً، كما فى الشكل (١١-١١د). ويلاحظ هنا أن القوة الدافعة الكهربية موحدة الاتجاه، لكن مقدارها يتغير من الصفر إلى النهاية العظمى، ثم إلى الصفر كل نصف دورة من دورات الملف.

وللحصول على تيار كهربى موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريبا تستخدم عدة ملفات بينها زوايا صغيرة، وتستخدم اسطوانة معدنية مجوفة مشقوقة إلى عدد من الأجزاء يساوى ضعف عدد الملفات، فتكون شدة التيار الكهربى المار فى الدائرة الخارجية ثابتة القيمة تقريبا، وبهذه الكيفية يتم الحصول فعليا على مولد ثابت الشدة DC generator (شكل ١١-١٢).



شكل(١١-١١د)

د- منحنى التيار مع زاوية الدوران (منحنى جيبى موحد الاتجاه)



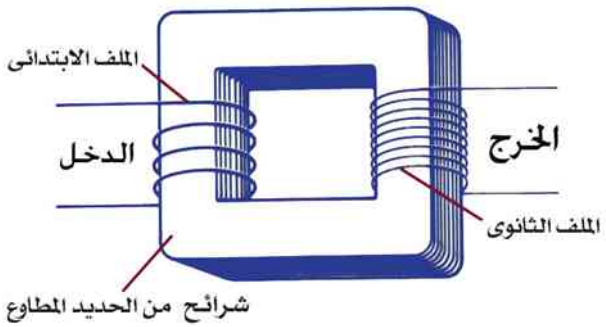
شكل (١١-١٢)

التيار موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريباً

المحول الكهربى Transformer :

المحول الكهربى جهاز تعتمد فكرة عمله على الحث المتبادل بين ملفين ويستخدم لرفع الجهد أو خفضه. فالمحولات المستخدمة فى محطات القوى تسمى محولات الجهد العالى وتكون محولات رافعة Up-**Converter** . والمحولات المستخدمة عند مناطق التوزيع محولات خافضة Down-**Converter**.

ويتركب المحول الكهربى كما فى الشكل (١١-١٣) من ملفين ابتدائى وثانوى. والملفان ملفوفان حول قلب من الحديد يتكون من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها،

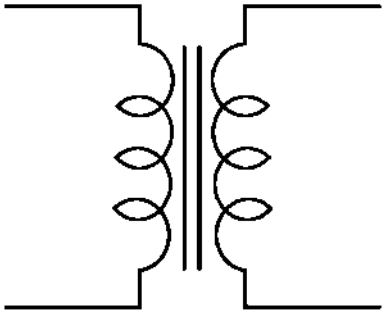


شكل (١١-١٣)

تركيب المحول الرافع

وذلك للحد من التيارات الدوامية. وللحد بالتالى من الطاقة الكهربية المفقودة.

عندما يمر تيار كهربى فى الملف الإبتدائى، فإن مجالاً مغناطيسيا يتولد عنه. أما القلب الحديدى فيعمل على تركيز خطوط فيض هذا المجال لتقطع الملف الثانوى.



شكل (١١-١٣ب)
رمز المحول

العلاقة بين القوتين الدافعتين الكهربيتين فى ملفى المحول المثالى:

عندما يوصل الملف الإبتدائى بمصدر جهد متردد، يولد التغير فى المجال المغناطيسى قوة دافعة كهربية مستحثة فى الملف الثانوى لها نفس التردد. وتعين القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى الملف الثانوى من العلاقة.

$$V_s = -N_s \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

حيث N_S عدد لفات الملف الثانوى و $\frac{\Delta \phi}{\Delta t}$ معدل خطوط الفيض المغناطيسى التى تقطعه. كذلك تتولد قوة دافعة كهربية فى الملف الابتدائى وترتبط أيضا بالمعدل الذى يتغير به الفيض. تتزن هذه القوة الدافعة تقريبا مع القوة الدافعة الكهربية للمصدر الخارجى. وقد يستهلك جزء من الجهد داخل مقاومة السلك. وتعمل هذه القوة الدافعة المستحثة. علي تحديد قيمة التيار بحيث لا يزداد أكثر من اللازم فيحترق الملف الابتدائي. وتتعين بالتالى من العلاقة :

$$V_p = -N_p \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

حيث N_p عدد لفات الملف الابتدائى.

وبفرض عدم وجود فقد فى الفيض المغناطيسى، بحيث يمر الفيض المغناطيسى الناتج بأكمله فى الملف الثانوى، يمكننا بقسمة العلاقتين السابقتين الحصول على ما يلى:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \qquad (11 - 13)$$

وتدلنا هذه العلاقة على كيفية ارتباط القوة الدافعة للملف الثانوى V_S بالقوة الدافعة للملف الابتدائى V_p.

فإذا كان N_s أكبر من N_p، يكون لدينا محول رافع للجهد، حيث تكون القوه الدافعة الكهربية للملف الثانوى أكبر من القوة الدافعة الكهربية للملف الابتدائى. على سبيل المثال إذا كان عدد لفات الملف الثانوى ضعف عدد لفات الملف الابتدائى يكون V_s ضعف V_p.

وإذا كان N_s أقل من N_p يكون لدينا محول خافض للجهد حيث تكون V_s أقل من V_p

العلاقة بين شدتى التيارين فى ملفى المحول :

إذا فرضنا عدم وجود فقد فى الطاقة الكهربية فى المحول، فإن قانون بقاء الطاقة يقتضى أن تكون الطاقة الكهربية المستنفذة فى الملف الابتدائى مساوية للطاقة الكهربية المتولدة فى الملف الثانوى أى أن :

$$V_p I_p t = V_s I_s t$$

ومنها تكون قدرة الدخل Input Power مساوية لقدرة الخرج Ouput Power. أى أن :

$$V_p I_p = V_s I_s$$

$$\therefore \frac{V_s}{V_p} = \frac{I_p}{I_s} \qquad (11 - 14)$$

بالاستعانة بالعلاقتين (11 - 11) و (11 - 12) نجد أن :

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \qquad (11 - 15)$$

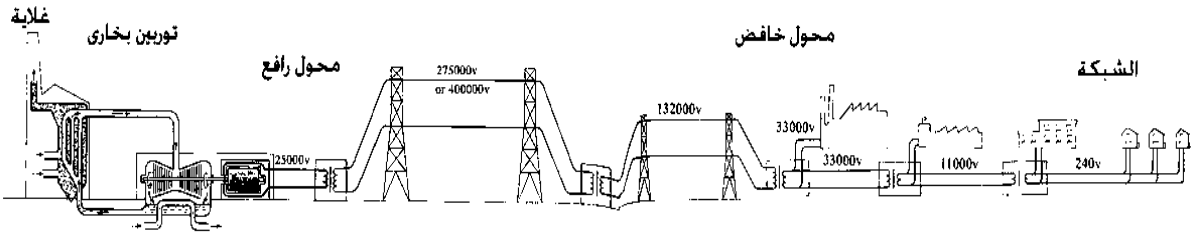
أى أن شدة التيار فى أى من الملفين تتناسب عكسياً مع عدد لفاته. فمثلاً عندما يكون عدد لفات الملف الثانوى ضعف عدد لفات الملف الابتدائى، فإن شدة تيار الملف الثانوى تساوى نصف شدة تيار الملف الابتدائى.

ومن هنا نتبين أهمية استخدام المحول الرافع للجهد عند محطة التوليد الكهربية، حيث

يتم رفع الجهد إلى قيمة عالية، وتقل شدة التيار بالتالى إلى قيمة منخفضة جداً، فيقل معدل الفقد فى القدرة الذى يساوى I^2R، حيث I شدة التيار الكهربى المار فى الأسلاك والتى مقاومتها R. لذلك إذا أمكننا خفض التيار الكهربى فى أسلاك النقل بواسطة المحول الرافع للجهد إلى $\frac{1}{100}$ مثلاً من شدة تيار الملف الابتدائى له، فإن الطاقة المفقودة تصل إلى $\frac{1}{10000}$ من الطاقة المفقودة إذا ظل التيار الكهربى فى الملف الابتدائى بنفس شدته الأصلية.

وعند مناطق التوزيع تستخدم محولات خافضة للجهد. حيث يكون فرق الجهد على الملف الثانوى 220 فولت. وهو جهد التشغيل لمصابيح الإضاءة ومعظم الأجهزة الكهربية المستخدمة فى المنازل.

استخدامات المحول الكهربى :



(شكل ١١-١٤)

استخدام المحولات فى نقل الطاقة الكهربية

(شكل ١١-١٥)

محول عملاق فى محطات الخفض والتوليد

تستخدم المحولات الكهربية لنقل الطاقة الكهربية Transmission من محطات توليدها إلى أماكن استخدامها على مسافات بعيدة عبر أسلاك معدنية دون فقد يذكر فى الطاقة الكهربية، حيث تستخدم محولات رافعة للجهد عند محطات التوليد Generation، ومحولات خافضة للجهد عند مناطق التوزيع (شكل ١١-١٤)، حيث تستخدم المحولات العملاقة فى هذه المحطات (شكل ١١-١٥). كما تستخدم المحولات الكهربية فى بعض الأجهزة المنزلية كالأجراس والثلاجات إلى آخره.

كفاءة المحول الكهربى :

إذا لم يكن هناك فقد فى الطاقة الكهربية فى المحول . بمعنى أن الطاقة الكهربية المتولدة فى الملف الثانوى تساوى الطاقة الكهربية المستنفدة فى الملف الابتدائى . تكون كفاءة المحول 100%. ومثل هذا المحول غير موجود فى الحياة العملية، إذ يحدث فقد فى الطاقة للأسباب الآتية :

١ - يتحول جزء من الطاقة الكهربية إلى طاقة حرارية فى الأسلاك. ولإنقاص هذا الفقد يفضل استخدام أسلاك معدنية مقاومتها أقل ما يمكن.

٢ - يتحول جزء من الطاقة الكهربية فى القلب الحديدى إلى طاقة حرارية بسبب التيارات الدوامية. وللحد من هذا الفقد يصنع القلب الحديدى من شرائح معزولة من الحديد المطاوع السليكونى لكبر مقاومته النوعية، وذلك للحد من التيارات الدوامية Eddy Currents.

٣- يتحول جزء من الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية تستنفد فى تحريك جزيئات القلب الحديدى. وللحد من هذا الفقد، يستخدم الحديد المطاوع السليكونى لسهولة حركة جزيئاته المغناطيسية.

وبصفة عامة إذا كانت الطاقة المفقودة تمثل 10% من الطاقة الكهربية الأصلية تكون كفاءة المحول 90%

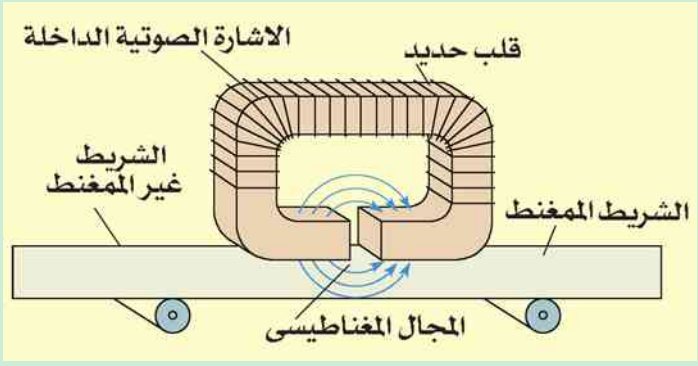
وتعرف كفاءة المحول بنسبة الطاقة الكهربية التى نحصل عليها من الملف الثانوى إلى الطاقة الكهربية المعطاة للملف الابتدائى فى نفس الزمن أى أن :

$$\eta = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100 \qquad (11 - 16)$$

معلومة إثرائية

التسجيل

يستخدم الحث الكهرومغناطيسى فى جهاز التسجيل **Recorder**، حيث تتحول الاشارة الكهربية إلى مجال مغناطيسى يمغنط الشريط المغناطيسى فى رأس التسجيل **Record Head**. وعند التشغيل تقوم رأس القراءة **Play Head** بقراءة ما تم تسجيله وتحويله إلى اشارة كهربية (شكل ١١-١٦). ويحدث نفس الشئ فى القرص الصلب **Hard Disk** فى الكمبيوتر، حيث تخزن المعلومات بالمغنطة. ولذلك لا تزول المعلومات التى فى القرص الصلب إذا فصل مصدر التيار الكهربى عن الكمبيوتر.



(شكل ١١ -١٦)

استخدام الحث الكهرومغناطيسى فى تسجيل الصوت

أمثلة :

١ - محول يعمل على مصدر تيار متردد قوته الدافعة الكهربية 240V يعطى تياراً شدته 4A وقوته الدافعة الكهربية 900V فما هى شدة تيار المصدر بفرض أن كفاءة المحول 100%؟

الحل :

$$\because \frac{V_s}{V_p} = \frac{I_p}{I_s}$$

$$\therefore \frac{900}{240} = \frac{I_p}{4}$$

$$\therefore I_p = \frac{900 \times 4}{240} = 15 \text{ A}$$

٢ - جرس كهربى مركب على محول كهربى كفاءته 80% يعطى 8V إذا كانت القوة الدافعة الكهربية فى المنزل 220V . فما عدد لفات الملف الثانوى، إذا كانت عدد لفات الملف الإبتدائى 1100 لفة؟ وما هى شدة التيار فى الملف الثانوى، إذا كانت شدة التيار فى الملف الابتدائى 0.1A؟

الحـــل :

$$\eta = \frac{V_S\ I_S}{V_p\ I_p} x100$$

$$\eta = \frac{V_s}{V_p} x \frac{N_p}{N_s} x100$$

$$80 = \frac{8}{220} x \frac{1100}{N_s} x100$$

$$N_s = 50 \quad \text{turns (لفة)}$$

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s}$$

$$\frac{I_s}{0.1} = \frac{1100}{50}$$

$$I_s = 2.2\ A$$

معلومة إثرائية

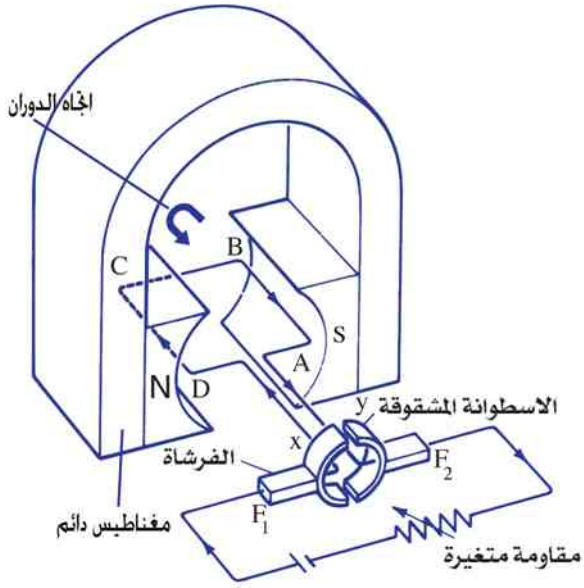
AC/DC

يتضح مما سبق أن هناك نوعان من التيار وبالتالى فرق الجهد (مستمر DC، ومتردد AC). فى حالة التيار المستمر ، فإن قانون أوم يوضح أن الذى يحدد قيمة التيار هو المقاومة، أما فى حالة التيار المتردد فإن الذى يحدد قيمة عناصر ثلاثة هى المقاومة Resistor وملف الحث Inductor والمكثف Capacitor.

ويراعى أن كهرباء المنازل تستخدم جهد متردد قيمته الفعالة 220V وتردده 50Hz، وأحياناً نحتاج إلى تحويل هذا الجهد المتردد إلى قيمة منخفضة لفرق جهد مستمر مثل شاحن التليفون المحمول وبعض الأجهزة الإلكترونية المنزلية، وذلك باستخدام المحول الكهربى ودائرة كهربية بسيطة للتقويم Rectifier. مع ملاحظة أن التيار المتردد المنخفض هو أخطر على الإنسان من التيار المستمر المنخفض (لماذا؟).

محرك التيار الكهربى المستمر DC Motor

هو جهاز يستخدم لتحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية ويعمل بمصدر كهربى مستمر (مثل البطارية) (شكل ١١-١٧). ويتركب فى أبسط صورة كما فى شكل (١١-١٧) من ملف مستطيل (ABCD) يتكون من عدد كبير من لفات سلك نحاس معزول ملفوفة حول قلب من الحديد المطاوع مكون من أقراص رقيقة معزولة عن بعضها للحد من التيارات الدوامية.



شكل (١١-١٧)

عمل المحرك (الموتور) المستمر

والملف ومعه القلب الحديدى قابلان للدوران بين قطبى مغناطيس قوى على شكل حذاء الفرس. ويتصل طرفا الملف بنصفى اسطوانة معدنية مشقوقة بالطول Commutator وهما النصفان (x,y)، وهما معزولان عن بعضهما، وقابلان للدوران حول نفس محور دوران الملف. يكون المستوى الفاصل بين نصفى الاسطوانة متعامدا مع مستوى الملف والخط الواصل بين الفرشتين موازيا لخطوط المجال المغناطيسى وعند تشغيل المحرك الكهربى توصل الفرشاتان F_1 , F_2 بقطبى بطارية.

المحرك والجلفانومتر

فكرة عمل المحرك الكهربى هى نفسها فكرة عمل الجلفانومتر ذى الملف المتحرك. الاختلاف بينهما أن ملف المحرك الكهربى يجب أن يدور باستمرار فى نفس الاتجاه. فتصميم المحرك الكهربى يقتضى أن يغير نصفا الاسطوانة المعدنية x,y موضعيهما بالنسبة للفرشتين F_1 , F_2 كل نصف دورة. ويترتب على هذا أن التيار الكهربى المار فى ملف المحرك الكهربى يعكس اتجاهه فى الملف كل نصف دورة.

شرح العمل خلال دورة كاملة للملف :

نبدأ بوضع يكون فيه مستوى الملف موازياً لخطوط الفيض المغناطيسى وتكون فيه الفرشاة F_1 المتصلة بالقطب الموجب للبطارية ملامسة لنصف الاسطوانة (x)، والفرشاة F_2 المتصلة بالقطب السالب للبطارية ملامسة لنصف الاسطوانة (y) كما فى الشكل (١١-١٧). فيمر التيار الكهربى فى الملف فى الإتجاه (DCBA). وبتطبيق قاعدة اليد اليسرى لفليمنج نتبين أن القوة المؤثرة على السلك (AB) يكون إتجاهها إلى أعلى، والقوة المؤثرة على السلك (CD) يكون إتجاهها إلى أسفل. وينشأ عن هاتين القوتين ازدواج Couple يعمل على دوران الملف فى الاتجاه المبين بالرسم (شكل ١١-١٧). ومع دوران الملف يقل عزم الازدواج تدريجياً حتى ينعدم عندما يصبح مستوى الملف عمودياً على إتجاه خطوط الفيض. لكن الملف مدفوعاً بقصوره الذاتى Inertia يستمر فى دورانه. حتى يكون النصفان (x,y) قد تبادلا موضعيهما بالنسبة للفرشتين F_1 , F_2 حيث يصبح نصف الاسطوانة (x) ملامساً الفرشاة F_2، ونصف الاسطوانة (y) ملامساً الفرشاة F_1، فينعكس إتجاه التيار فى الملف، ويمر فى الاتجاه (ABCD). وبتطبيق قاعدة اليد اليسرى لفليمنج فى هذا الوضع الجديد، نتبين أن القوة المؤثرة على السلك (AB) تكون إلى أسفل، بينما القوة المؤثرة على السلك (CD) تكون إلى أعلى. ويعمل الازدواج الناشىء من هاتين القوتين على إستمرار دوران الملف فى نفس الإتجاه الدائرى السابق. ويزداد عزم الازدواج تدريجياً حتى يصل إلى نهايته العظمى، عندما يكون مستوى الملف موازياً لخطوط الفيض، ثم يقل عزم الإزدواج حتى ينعدم عندما يكون مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيض، وبالقصور الذاتى يستمر الملف فى حركته قليلاً، بما يسمح لنصفى الاسطوانة (x,y) أن يتبادلا موضعيهما بالنسبة للفرشاتين F_1 , F_2، فينعكس التيار الكهربى مرة أخرى فى الملف. ويستمر الملف فى الدوران فى نفس الاتجاه، ويزداد عزم الازدواج تدريجياً حتى يصل إلى نهايته العظمى، عندما يكون مستوى الملف موازياً لخطوط الفيض، ويكون الملف قد أتم دورة كاملة. ويتكرر ما حدث، ويستمر الملف فى الدوران. وللاحتفاظ بعزم دوران ثابت عند النهاية العظمى نستخدم عدة ملفات بين مستوياتها زوايا صغيرة متساوية. ويتصل طرف كل ملف بقطعتين متقابلتين من أسطوانة معدنية مشقوقة إلى عدد من القطع يساوي ضعف عدد الملفات. بحيث يلامس كل قطعتين متقابلتين من الاسطوانة المشقوقة أثناء دورانها الفرشاتان F_1 , F_2 فى وضع أقصى عزم ازدواج.

معلومة إثرائية

المحرك والمولد فى آن واحد

أثناء تشغيل المحرك الكهربى يقطع ملفه خطوط الفيض المغناطيسى للمجال الناشىء عن قطبى مغناطيس على شكل حذاء الفرس. ويكون معدل القطع متغيراً، فتتولد فى الملف قوة دافعة كهربية مستحثة عكسية، (عكس البطارية) مما يؤدى إلى انقاص سرعة دوران الملف حيث يقل التيار. أى أن المحرك أثناء دورانه يعمل أيضا كمولد.

وتعمل قوة الدفع العكسية Back emf فى ملف المحرك الكهربى على إنتظام سرعة دوران هذا الملف. فعندما تميل سرعة الملف إلى الزيادة، تزداد القوة الدافعة الكهربية المستحثة. ولأن الفرق بين هذه القوة الدافعة المستحثة ومصدر الجهد الخارجى الثابت هو التيار مضروبا فى مقاومة سلك الملف فإن زيادة القوة الدافعة الكهربية المستحثة تؤدى إلى نقص التيار وبالتالى سرعة بالملف. وعندما تميل سرعة الملف إلى النقصان تقل القوة الدافعة الكهربية ونتيجة لذلك ترتفع شدة التيار فتميل سرعة الملف إلى الزيادة DC motor ولذلك تنتظم سرعة دوران الملف وتنتظم سرعة دوران ملف المحرك ثابت الشدة ولكن يمكن تغييرها بتغير جهد البطارية.

ويلاحظ أنه عند محاولة إيقاف الموتور أثناء توصيله بالمصدر فإن الملف يحترق نتيجة زوال القوة الدافعة المستحثة وبالتالى يكون فرق الجهد الخارجى هو المسلط بالكامل على مقاومة الملف الصغيرة فيزداد التيار جدا ويحترق الملف.

معلومة إثرائية

البحث عن المعادن

تعتمد فكرة جهاز البحث عن المعادن Metal Detector. على قياس التغير الذى يحدث فى معامل الحث الذاتى L لملف نتيجة وجود معدن بالقرب منه. عندئذ يتغير التيار فى الجهاز مما يدل علي وجود المعدن (شكل ١١-١٨)

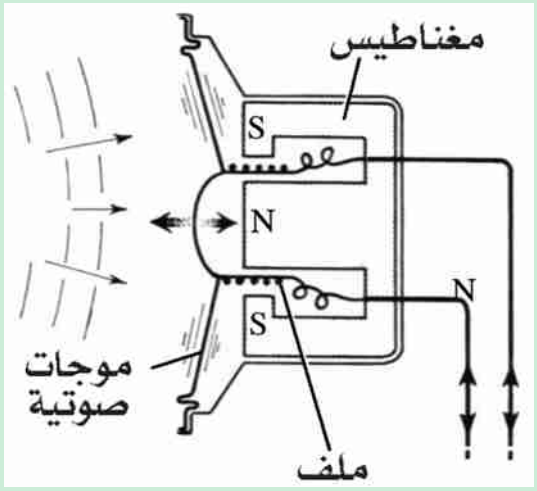
(شكل ١١-١٨)

البحث عن المعادن

معلومة إثرائية

الميكروفون والسماعة

تعتمد فكرة الميكرفون ذى الملف المتحرك Moving Coil Microphone على تذبذب رقيقة معدنية Armature تبعا لموجات الصوت، وبالتالي يتغير المجال المغناطيسى في قلب حديدي. وينتج عن ذلك تولد قوة دفع كهربية emf فى ملف يحيط بالقلب الحديدى. وتكون هذه القوة الدافعة متغيرة الشدة والتردد بحسب خصائص الصوت. وهكذا تتحول الإشارة الصوتية (الميكانيكية) إلى إشارة كهربية audio (شكل ١١- ١٩).

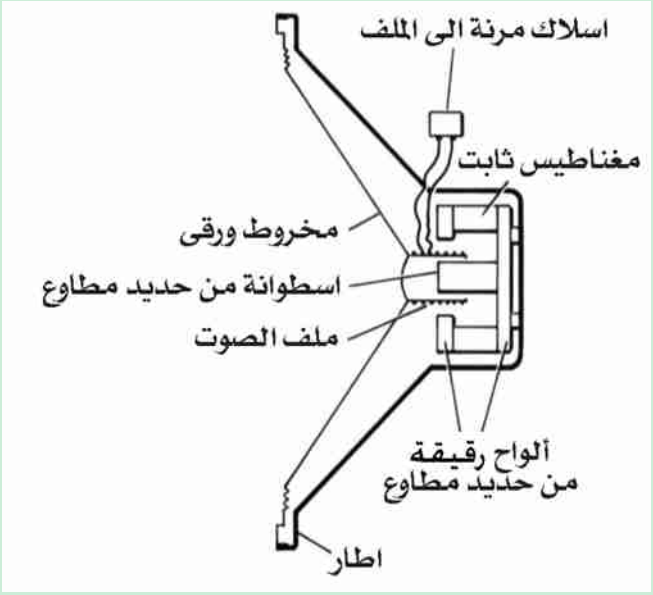


(شكل ١١-١٩)

تركيب الميكروفون

أما فى السماعة ذات الملف المتحرك Moving Coil Loud Speaker فيحدث

العكس. إذ تحدث الإشارة الكهربية المتغيرة تغيرا فى التيار الكهربي في ملف متصل برقيقة معدنية. فتتحرك هذه الرقيقة بفعل القوة الناتجة عن وجود مجال مغناطيسي، فتنشأ موجات ميكانيكية (صوتية) تماثل خصائص الإشارة الكهربية فيسمع الصوت (شكل ١١-٢٠).



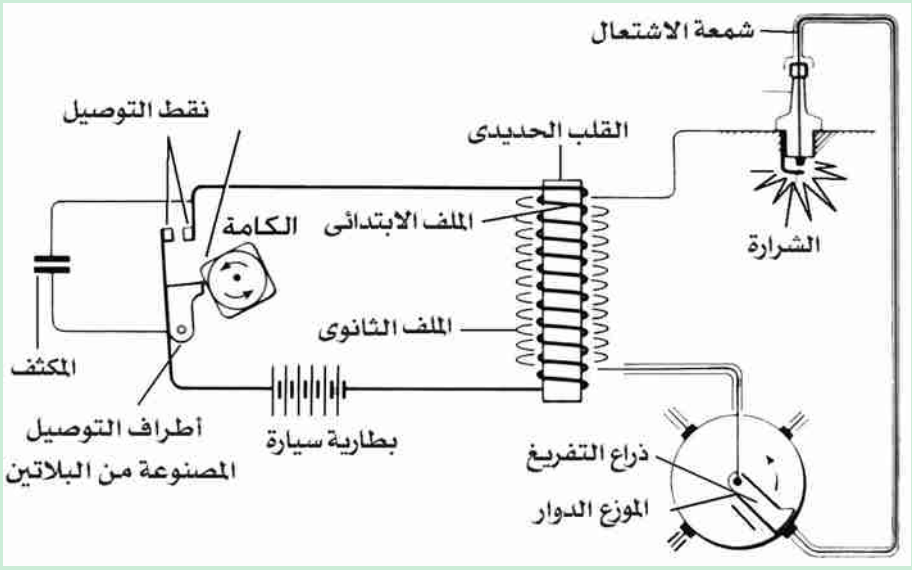
(شكل ١١- ٢٠)
تركيب السماعة

معلومة إثرائية

دائرة الاشتعال فى السيارة

يتركب ملف الاشتعال (شكل ١١-٢١) من ملفين أحدهما داخل الآخر، وهما ملفوفان حول قلب من الحديد المطاوع. يعتبر الملف الابتدائي والقلب الحديدى مغناطيسا كهربيا، حيث يفتح دائرته من وقت لآخر بواسطة كامة الموزع Distributer's Cam عند دورانها فتفتح وتغلق أطراف التوصيل المصنوعة من البلاتين Point Contacts. ويتكون الملف الثانوى من آلاف اللفات من السلك، حيث يتولد فيه بالحث قوة دافعة كهربية عالية من وقت لآخر بنفس معدل فتح دائرة الملف الابتدائى. تعمل القوة الدافعة الكهربية العالية علي توليد شرارة كهربية عبر الفجوة Air Gap فى شمعات الاحتراق Spark Plugs. وتتناوب هذه الشمعات في الاتصال بالملف الثانوى أثناء دوران الموزع.

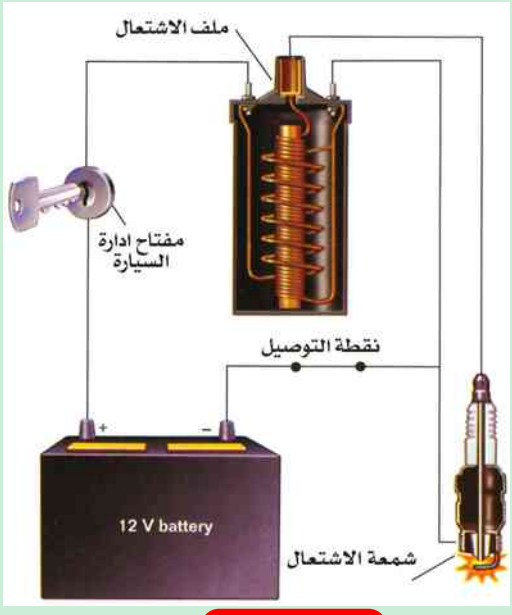
ويستخدم المكثف Capacitor لحماية الطرفين الموصلين من التآكل بفعل الشرارة الكهربية، كما يسهم في كبر الشرارة أثناء فتح الدائرة.



(شكل ١١-٢١أ)

أ- رسم تخطيطى لدائرة الاشتعال فى السيارة

أما في دائرة الاشتعال الإلكترونية، فهى تعمل بنفس الطريقة السابقة مع استخدام الترانزستور كمفتاح بالكامات (الفصل الخامس عشر).



(شكل ١١-٢١ب)

ب- مقطع طولى لمكونات دائرة الاشتعال

تلخيص

التعاريف والمفاهيم الأساسية :

- الحث الكهرومغناطيسى : هى ظاهرة تتولد فيها قوة دافعة كهربية مستحثة، كذلك تيار كهربى مستحث فى الملف اثناء إدخال مغناطيس فيه او اخراجه منه.
- وجود الحديد المطاوع داخل الملف يعمل على تركيز خطوط الفيض المغناطيسى التى تقطع الملف، مما يزيد القوة الدافعة الكهربية المستحثة وكذلك التيار المستحث.
- قانون فاراداى للقوة الدافعة المستحثة :

تتناسب القوة الدافعة المستحثة المتولدة فى ملف بالحث الكهرومغناطيسى تناسبا طرديا مع المعدل الزمنى الذى يقطع به الموصل خطوط الفيض، وكذلك مع عدد لفات الملف.

- قاعدة لنز : يكون اتجاه التيار الكهربى المتولد بالتأثير (المستحث)، بحيث يضادالتغير فى الفيض المغناطيسى المسبب له .
- قاعدة اليد اليمنى لفليمنج : إجعل الإبهام والسبابة والوسطى (ومعه باقى الأصابع) من أصابع اليد اليمنى متعامدة على بعضها، بحيث تشير السبابة إلى اتجاه المجال، والابهام إلى اتجاه الحركة. عندئذ تشير الوسطى وباقى الأصابع إلى اتجاه التيار المستحث.
- الحث المتبادل : هو التأثير الكهرومغناطيسى الحادث بين ملفين متجاورين (أو متداخلين)، احدهما يمر به تيار كهربى متغير الشدة، فيتأثر به الملف الثانوى، ويقاوم التغير الحادث فى الملف الأول الابتدائى .
- الحث الذاتى : هو التأثير الكهرومغناطيسى الحادث فى نفس الموصل أثناء تغير شدة التيار فيه زيادة أو نقصا لمقاومة هذا التغير.
- معامل الحث الذاتى : يقدر عدديا بالقوة الدافعة الكهربية المتولدة بالحث فى الملف عندما يكون المعدل الزمنى لتغير التيار فيه 1 A/s
- وحدة قياس معامل الحث الذاتى : الهنرى هو الحث الذاتى للملف الذى تتولد عنه قوة دافعة كهربية حثية تساوى 1V عندما يكون المعدل الزمنى لتغير التيار فى الملف 1A/s

- واحد هنرى = $\frac{\text{فولت . ثانية}}{\text{أمبير}} = \frac{1V_s}{A} = 1H$

- يتوقف معامل الحث الذاتى لملف على :

(أ) شكله الهندسى (ب) عدد لفاته

(جـ) المسافة بين اللفات (د) سماحية القلب المغناطيسى

- مولد التيار الكهربى (الدينامو) : جهاز لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية عندما يدور ملف فى مجال مغناطيسى. وهو يعطى تيارا مترددا.

- يتركب المولد الكهربى البسيط من :

(أ) المغناطيس الثابت (مغناطيس قوى)

(ب) ملف من سلك معلق بين قطبى المغناطيس.

(جـ) حلقتى انزلاق ملامستين لفرشتى التيار المتردد، أو اسطوانة معدنية جوفاء مشقوقة الى عدد من الأجزاء المعزولة عن بعضها للحصول على تيار مستمر تقريباً.

- التيار المتردد : تيار تغير شدته واتجاهه بصورة دورية مع الزمن (منحنى الجيب).

- المحول الكهربى : جهاز لرفع أو خفض القوة الدافعة الكهربية المترددة عن طريق الحث المتبادل بين ملفين.

- كفاءة المحول : هى النسبة بين الطاقة الكهربية التى نحصل عليها من الملف الثانوى إلى الطاقة الكهربية المعطاه للملف الابتدائى.

- المحرك الكهربى (الموتور) : جهاز لتحويل الطاقة الكهربية الى طاقة ميكانيكية

القوانين الهامة :

- القوة الدافعة المستحثة المتولدة فى ملف عدد لفاته N نتيجة تغير فى خطوط الفيض المغناطيسى $\Delta\Phi$ المقطوعة فى زمن Δt يعطى بالعلاقة :

$$emf = - N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \text{ Volt}$$

الإشارة السالبة تدل على أن اتجاه القوة الدافعة المستحثة ـ وبالتالى التيار المستحث ـ عكس التغير المسبب له.

- القوة الدافعة المستحثة المتولدة فى ملف ثانوى نتيجة تغير فى خطوط الفيض المغناطيسى الناشئة عن الملف الابتدائى $\Delta\Phi$ والتى تقطع الملف الثانوى فى زمن Δt تعطى من العلاقة :

$$emf = - M \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

حيث M معامل الحث المتبادل .

- القوة الدافعة المتولدة بالحث الذاتى نتيجة التغير فى شدة التيار المار فى الملف بمقدار ΔI فى زمن Δt تعطى من العلاقة :

$$emf = - L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

حيث **L** معامل الحث الذاتى للملف

- القوة الدافعة المستحثة فى سلك مستقيم طوله ع يتحرك بسرعة ثابتة v يصنع اتجاهها زاوية θ مع اتجاه مجال مغناطيسى كثافة فيضه B يعطى من العلاقة.

$$emf = B\ell v \sin \theta$$

- القوة الدافعة المستحثة اللحظية المتولدة فى ملف الدينامو تعطى من العلاقة :

$$emf = NBA \omega \sin \theta$$

حيث N عدد لفات الملف ، B كثافة الفيض المغناطيسى ، A مساحة وجه الملف ، θ هى الزاوية بين اتجاه السرعة v واتجاه كثافة الفيض المغناطيسى B.

$$\text{السرعة الزاوية} = 2\pi \times \frac{\text{عدد الدورات}}{\text{الزمن بالثانية}}$$

وتكون نهاية عظمى عند $\theta = 90^\circ$ ، صفر عند $\theta = 0^\circ$

- العلاقة بين القيمة الفعالة للتيار I_{eff}، النهاية العظمي له I_{max} هى:-

$$I_{eff} = 0.707\ I_{max}$$

- قوانين ا لمحول الكهربى

(أ) العلاقة بين القوتين الدافعتين الكهربيتين لملفى ا لمحول.

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

(ب) العلاقة بين شدة التيار فى ملفى ا لمحول :

$$I_s / I_p = N_p / N_s$$

(جـ) كفاءة ا لمحول .

$$\frac{V_S\ I_S}{V_P I_P} \times 100$$

p تعنى الابتدائى ، s تعنى الثانوى

أسئلة وتمارين

أولا: ضع علامة (✔) أمام الاجابة الصحيحة :

١- تنحرف ابرة الجلفانومتر المتصل طرفاه بملف لولبى عند اخراج المغناطيس من الملف بسرعة وذلك لأن :

(أ) عدد لفات الملف كبيرة (ب) يقطع الملف خطوط الفيض المغناطيسى

(جـ) عدد لفات الملف قليلة (د) عدد لفات الملف مناسبة

٢- تنحرف ابرة الجلفانومتر المتصل طرفاه بملف لولبى عند اخراج المغناطيس من الملف فى اتجاه عكس اتجاه انحرافها عند ادخال المغناطيس فى الملف وذلك.

(أ) لتولد تيار مستحث اتجاهه عكس اتجاه التيار عند ادخال المغناطيس

(ب) لتولد تيار كهربى (جـ) لنقص عدد خطوط الفيض المغناطيسى

(د) لتغير عدد خطوط الفيض (هـ) لعدم تغير عدد خطوط الفيض

٣- تختلف القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى الملف عند ادخال أو اخراج مغناطيس منه نتيجة لاختلاف :

(أ) (شدة التيار - طول سلك الملف - عدد خطوط الفيض)

(ب) (قوة المغناطيس - سرعة حركة المغناطيس - عدد لفات الملف)

(جـ) (مساحة مقطع الملف - كتلة وحدة الاطوال من الملف - نوع مادة السلك المصنوع منه الملف).

(د) (طول الملف - عدد اللفات - نوع المغناطيس)

(هـ) (كثافة الفيض - الزمن - شدة التيار)

٤- عند مرور تيار كهربى فى الملف الابتدائى ثم دخول ملف ثانوى فيه طرفاه متصلان بجلفانومتر يكون انحراف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه :

(أ) عكس التيار فى الملف الابتدائى (ب) يشير إلى صفر التدرج

(جـ) متزايد (د) نفس اتجاه التيار فى الملف الابتدائى

(هـ) متغير

٥- عند قطع التيار المار بالملف الابتدائى، وهو بداخل الملف الثانوى يتولد :

(أ) تيار مستحث طردى (ب) مجال كهربى

(جـ) تيار مستحث عكسى (د) تيار متردد

(هـ) مجال مغناطيسى

٦- يرجع بطء التيار فى الملف اللولبى أثناء مروره فيه إلى :

(أ) تولد تيار تأثيرى طردى (ب) تولد مجال مغناطيسى

(جـ) تولد ق.د.ك عكسية تقاوم فرق الجهد الأصلى

(د) تولد فيض مغناطيسى (هـ) تولد مجال كهربى

٧- تصنع المقاومات من أسلاك ملفوفة لفاً مزدوجة :

(أ) لتقل مقاومة السلك (ب) لتزيد مقاومة السلك

(جـ) لتلافى الحث الذاتى (د) لتنعدم مقاومة السلك

(هـ) لتسهيل عملية التوصيل

٨- يمكن تحديد اتجاه التيار الكهربى المتولد فى ملف الدينامو باستخدام :

(أ) قاعدة فليمنج لليد اليسرى (ب) قاعدة لنز

(جـ) قاعدة فليمنج لليد اليمنى

٩- يكون معدل قطع الملف لخطوط الفيض المغناطيسى فى الدينامو أكبر ما يمكن عندما يكون:

(أ) مستوى الملف عموديا على خطوط الفيض.

(ب) مستوى الملف مائلا بزاوية = 30° (جـ) مساحة الملف اقل ما يمكن

(د) مساحة الملف أكبر ما يمكن (هـ) مستوى الملف موازٍ لخطوط الفيض

١٠- تتناسب شدة التيار المار فى ملفى المحول الكهربى مع عدد لفات الملف تناسبا :

(أ) طرديا (ب) عكسيا

(جـ) يتوقف على نوع مادة السلك (د) يتوقف على درجة حرارة السلك

(هـ) يتوقف على درجة حرارة الجو.

١١- تزداد قدرة الموتور على الدوران باستخدام :

(أ) عدد أكبر من اللفات (ب) عدة ملفات بين مستوياتها زوايا متساوية

(جـ) عدة مغناطيسات (د) سلك نحاس معزول

(هـ) مقوم التيار

١٢- تسمى النسبة بين الطاقة الكهربية فى الملف الثانوى إلى الطاقة الكهربية من الملف الابتدائى :-

(أ) الطاقة المفقودة (ب) الطاقة المعطاة

(جـ) كفاءة المحول (د) قوة تشغيل المحول

(هـ) الطاقة المكتسبة

ثانيا: عرف كلا مما يأتى :

١ - الحث الكهرومغنطيسى .

٢ - قانون فاراداى للقوة الدافعة المستحثة .

٣ - قاعدة لنز .

٤ - قاعدة فليمنج لليد اليمنى .

٥ - الحث المتبادل .

٦ - وحدة قياس الحث المتبادل .

٧ - الحث الذاتى .

٨ - معامل الحث الذاتى .

٩ - الهنرى .

١٠ - ملف الحث .

١١ - التيار المتردد .

١٢ - الدينامو .

١٣ - الموتور .

١٤ - المحول الكهربى .

١٥ - كفاءة المحول الكهربى

١٦ - القوة الدافعة العكسية فى الموتور .

ثالثا : أسئلة المقال :

١- ما هى العوامل التى تتوقف عليها القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى موصل؟ اذكر العلاقة بين هذه العوامل والقوة الدافعة المستحثة.

٢- اذكر قانون فاراداى للقوة الدافعة الكهربية المستحثة فى ملف وكيف يمكن تحقيقه عمليا.

٣- ما المقصود بالحث المتبادل بين ملفين؟ وما المقصود بمعامل الحث المتبادل؟ كيف يمكن بإستخدام الحث المتبادل إثبات قاعدة لنز.

٤- إذا أمر تيار كهربى فى ملف - استنتج المعادلة التى تربط بين القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى هذا الملف ومعدل تغير التيار المار فيه. ومنها إستنتج تعريفا لكل من معامل الحث الذاتى والهنرى.

٥ - متى تكون القوة الدافعة المستحثة المتولدة فى ملف أكبر ما يمكن ومتى تكون صفرًا.

٦- إشرح تجربة لتوضيح تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية وتجربة أخرى توضح حدوث العكس. ثم أذكر القاعدة المستخدمة لتحديد اتجاه التيار فى الحالة الأولى وإتجاه الحركة فى الحالة الثانية.

٧- استنتج علاقة يمكن بواسطتها تعيين القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى لحظة ما فى مولد التيار المتردد.

٨- ما هى التعديلات التى إدخلت على دينامو التيار المتردد للحصول على تيار مقوم.

٩- صف تركيب المحول الكهربى واشرح نظرية عمله. ما معنى أن كفاءة المحول الكهربى 80% ؟

١٠- ماذا يقصد بكفاءة المحول الكهربى؟ وما هى العوامل التى تنقص منها وكيفية التغلب عليها؟ وهل تصل كفاءة المحول إلى 100% أم لا ولماذا؟

١١- صف مع الرسم تركيب الموتور موضحا فكرة عمله.

رابعا: علل لما يأتى

(أ) يصنع قلب المحول الكهربى من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها البعض.

(ب) لا يمغنط ساق من الحديد المطاوع إذا لف حوله سلك معدنى معزول ملفوف لفا مزدوجا يمر به تيار كهربى مستمر.

(ج) يتحرك سلك يمر به تيار كهربى عندما يكون حر الحركة فى مجال مغناطيسى.

(د) لا يصلح المحول الكهربى فى رفع أو خفض قوة دافعة كهربية مستمرة.

(هـ) سرعة دوران ملف الموتور منتظمة.

(و) انعدام التيار المستحث فى السلك المستقيم أسرع منه فى ملف قلبه هوائى. وانعدام التيار فى الملف ذو القلب الهوائى أسرع منه فى ملف ملفوف حول قلب من الحديد.

(ز) يتصل طرفا ملف الدينامو لتوليد تيار موحد الاتجاه بأسطوانة معدنية مجوفة مشقوقة إلى نصفين معزولين تماماً عن بعضهما.

خامسا : تمارين :

١- ملف عدد لفاته 80 لفة مساحة مقطعة $0.2\ m^2$ معلق عموديا على مجال منتظم. متوسط القوة الدافعة المستحثة 2V عندما يدور الملف 1/4 دورة خلال 0.5s احسب كثافة الفيض المغنطيسى. (0.0625 Tesla)

٢- إذا كانت كثافة الفيض المغنطيسى بين قطبى مغناطيسى مولد كهربى هى 0.7Tesla وكان طول ملف الجهاز 0.4m لكى تتولد قوة دافعة كهربية مستحثة فى هذا السلك تساوى واحد فولت احسب سرعة حركته. (3.57 m/sc)

٣- ملف دينامو يتكون من 800 لفة مساحة مقطعة $0.25m^2$ يدور بمعدل 600 دورة كل دقيقة فى مجال كثافة فيضه 0.3Tesla احسب القوة الدافعة المستحثة عندما يصنع العمودى على الملف زاوية 30° مع الفيض المغنطيسى. (6.28V)

٤- ساق من النحاس طولها 30cm تتحرك عموديا على مجال مغنطيسى كثافة فيضه 0.8 Tesla بسرعة 0.5m/s احسب القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى هذه الساق. (0.12V)

٥- هوائي سيارة طوله متر. تتحرك السيارة بسرعة 80km/hr فى اتجاه متعامد على المركبة الأفقية للمجال المغناطيسى للأرض. فتولدت قوة دافعة كهربية 4×10^{-4}V فى الهوائى احسب المركبة الأفقية للمجال المغناطيسى للأرض. $(18 \times 10^{-6}$ Tesla)

٦- احسب معامل الحث الذاتى لملف تتولد فيه قوة دافعة كهربية مستحثة مقدارها 10 V إذا تغيرت شدة التيار المار فيه بمعدل 40A/S (0.25 H)

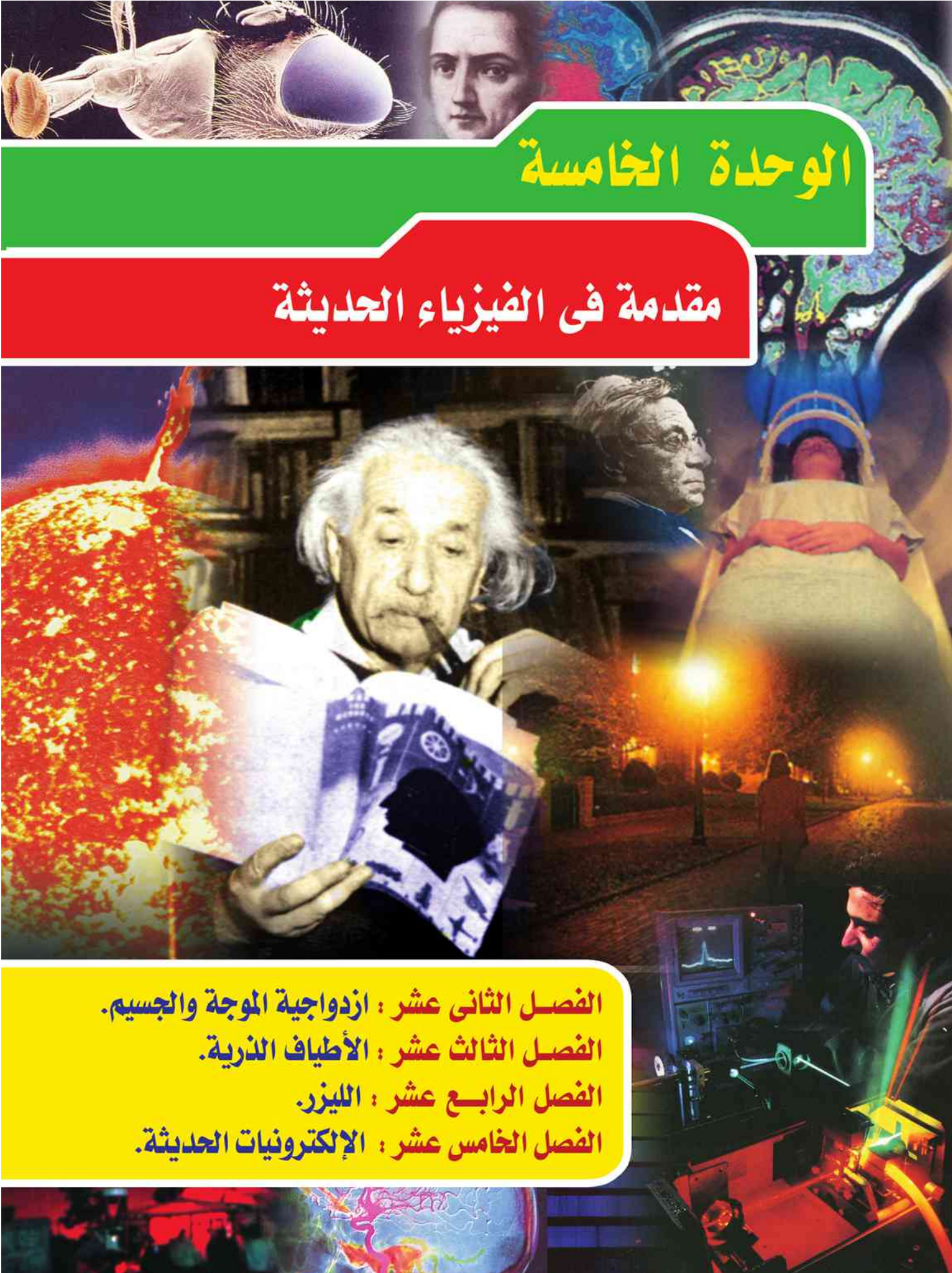
٧- الحث المتبادل بين ملفين متقابلين هو 0.1H، وكانت شدة التيار المار فى أحد الملفين 4A فإذا هبطت شدة التيار فى ذلك الملف إلى الصفر فى 0.01 s . احسب القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى الملف الثانى. (40V)

٨- ملف مستطيل ابعاده 0.4m x 0.2m وعدد لفاته 100 لفة يدور بسرعة زاوية ثابتة 500 دورة فى الدقيقة فى مجال منتظم كثافة فيضه 0.1T ومحور الدوران فى مستوى الملف عمودى على المجال. احسب القوة الدافعة الكهربية العظمى المستحثة المتولدة فى الملف.
(41.89 V)

٩- محول خافض كفاءته 90% وجهد ملفه الابتدائى 200V وجهد ملفه الثانوى 9V فإذا كانت شدة التيار فى الملف الابتدائى 0.5A وعدد لفات الملف الثانوى 90 لفة، فما هى شدة التيار فى الملف الثانوى وعدد لفات الملف الابتدائى ؟ (10 A, 1800 لفة)

١٠- محول خافض يعمل على مصدر قوته الدافعة الكهربية 2500 V يعطى ملفه الثانوى تيار شدته 80A، والنسبة بين عدد لفات الملف الإبتدائى وعدد لفات الملف الثانوى 20، وبفرض أن كفاءة هذا المحول 80%، أحسب القوة الدافعة الكهربية بين طرفى الملف الثانوى وشدة التيار المار فى الملف الابتدائى .

(100 V, 4A)



الوحدة الخامسة

مقدمة فى الفيزياء الحديثة

الفصـل الثانى عشر : ازدواجية الموجة والجسيم.

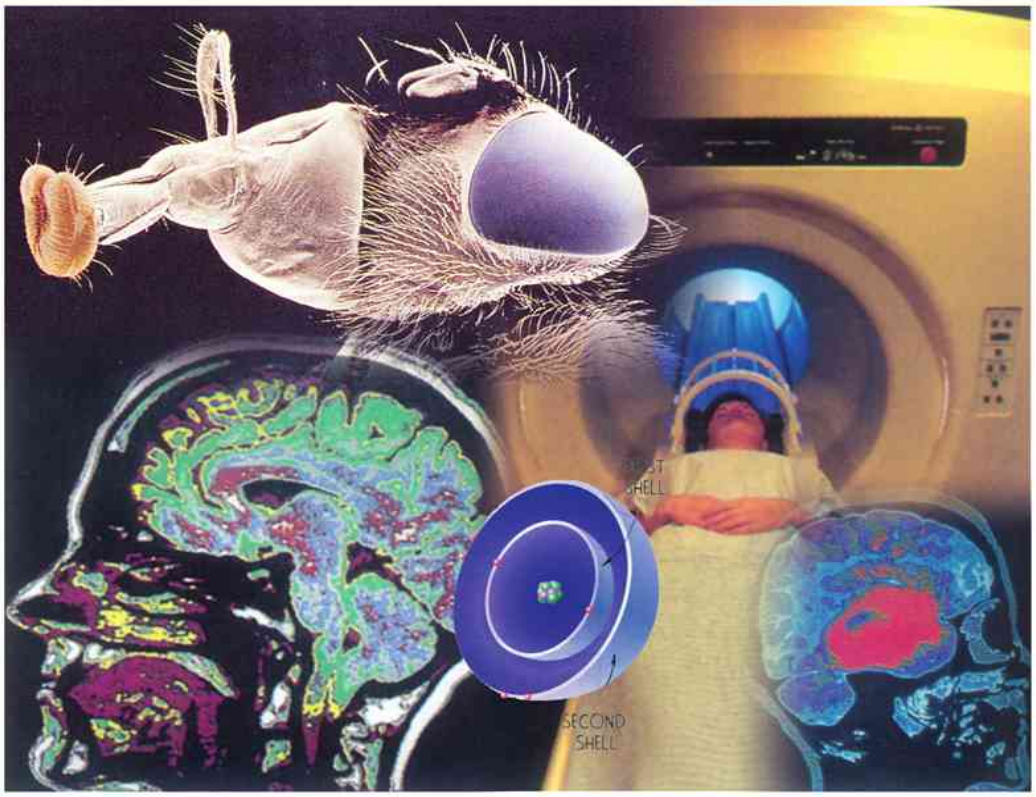
الفصـل الثالث عشر : الأطياف الذرية.

الفصل الرابـع عشر : الليزر.

الفصل الخامس عشر : الإلكترونيات الحديثة.

مقدمة فى الفيزياء الحديثة

الوحدة الخامسة



الفصل الثانى عشر : ازدواجية الموجة والجسيم

الوحدة الخامسة
مقدمة فى الفيزياء الحديثة

الفصل الثانى عشر
ازدواجية الموجة والجسيم

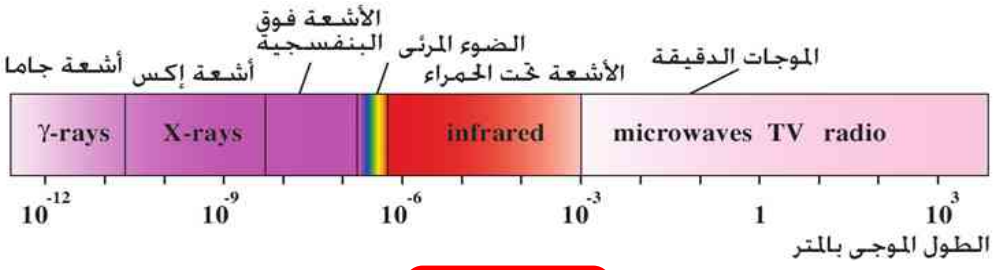
مقدمة :

يندرج كل ما درسناه حتى الآن تحت ما يسمى "الفيزياء الكلاسيكية"، ليس معنى هذا أنها فيزياء غير مستعملة، بل إنها تفسر مشاهداتنا اليومية وتجاربنا المعتادة. أما الوحدة الحالية فهى تتضمن بعض المفاهيم الأساسية للفيزياء الحديثة التى تعتبر مدخلا مهما لفيزياء الكم Quantum Physics. ويتعامل هذا الفرع من الفيزياء مع مجموعة كبيرة من الظواهر العلمية التى قد لا نراها فى حياتنا اليومية بصورة مباشرة، ولكنها تتناول العديد من آثار هذا الكون والتى لا تستطيع الفيزياء الكلاسيكية تفسيرها وخاصة عندما نتعامل على المستوى الذرى أو دون الذرى Subatomic Scale.

كما يفسر هذا الفرع من الفيزياء كل الظواهر الإلكترونية، والتى هى أساس نظم الإلكترونيات والاتصالات الحديثة. كما يفسر التفاعلات الكيميائية على مستوى الجزىء والتى تمكن العالم أحمد زويل من تصوير بعضها باستخدام كاميرا الليزر فائقة السرعة بما أهله للفوز بجائزة نوبل الكيمياء عام ١٩٩٩ ٠

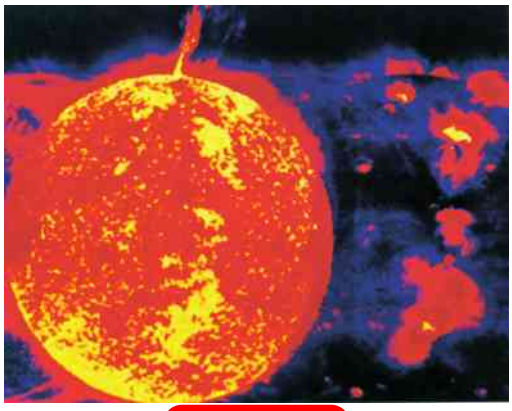
إشعاع الجسم الأسود Black Body Radiation:

استقر فهمنا حتى الآن عن الضوء على أنه موجات. ومن خصائص الموجات أنها تنعكس وتنكسر وتعانى التداخل والحيود. وفهمنا أيضا أن الضوء المرئى هو جزء محدود



(شكل ١٢-١)

الطيف الكهرومغناطيسى



(شكل١٢-٢)

الشمس مصدر للإشعاع الكهرومغناطيسى

(١٢-٣)

قطعة فحم متقدة تشع اشعاعا كهرومغناطيسياً

(شكل١٢-١٤)

المصبلح متوهج

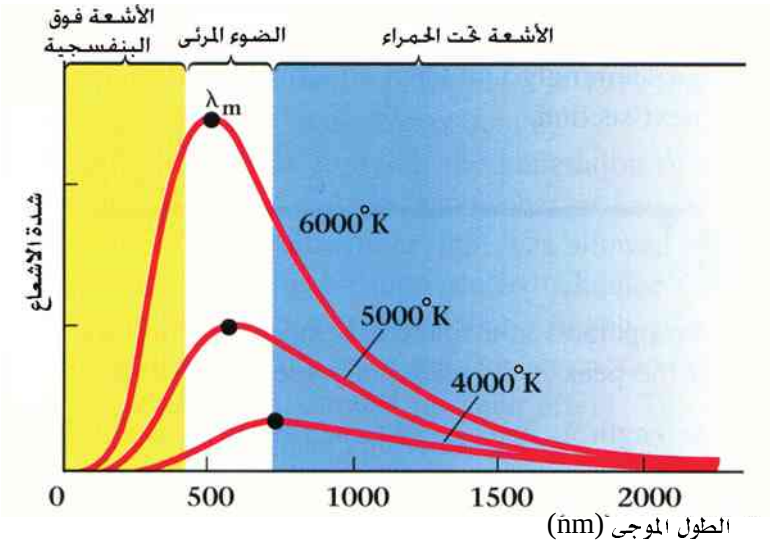
(شكل١٢-٤ب)

المصباح أقل توهجا

المصباح الكهربى يشع اشعاعا كهرومغناطيسيا

من الطيف الكهرومغناطيسى (شكل ١٢-١) . تختلف هذه الموجات الكهرومغناطيسية فى ترددها وطولها الموجى، ولكنها تنتشر بسرعة ثابتة فى الفراغ هى $c = 3 \times 10^8$ m/s ، ولا تحتاج الموجات إلى وسط لانتشارها. ونلاحظ جميعاً أن الأجسام الساخنة تشع ضوءاً وحرارة. ومن أمثلة هذه الأجسام الشمس (شكل ١٢-٢)، وسائر النجوم، وكذلك قطعة الفحم المتقدة (شكل ١٢-٣)، والمصباح الكهربى (شكل ١٢-٤). ونلاحظ أيضا أن اللون الغالب على الضوء الصادر من كل هذه المصادر وغيرها متغير. أى أن المصدر المشع لا يشع كل

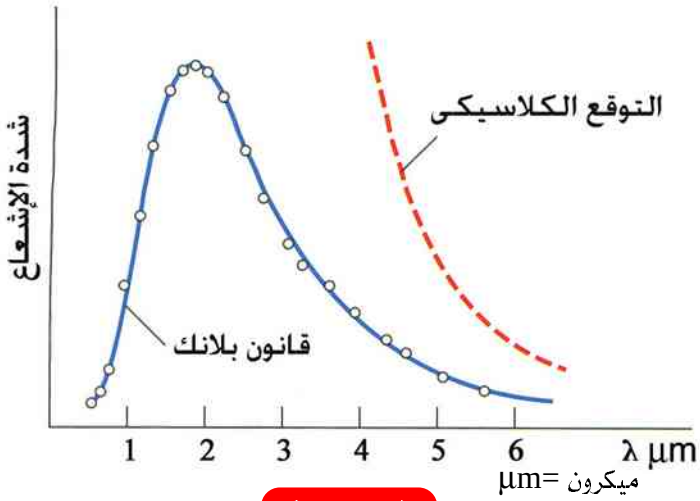
الأطوال الموجية بنفس القدر بل تختلف شدة الإشعاع مع الطول الموجى. ويسمى منحنى شدة الإشعاع مع الطول الموجى بمنحنى بلانك Planck's Distribution (شكل ١٢-٥). ووجد أيضاً أن الطول الموجى الذى تصاحبه أقصى شدة إشعاع λ_m يتناسب عكسيا مع درجة الحرارة. يعرف هذا بقانون فين Wien's Law. أى أنه كلما زادت درجة الحرارة كان الطول الموجى الذى عنده قمة عظمى أقصر. ويلاحظ أنه إذا زاد الطول الموجى جدا أو قصر جدا فإن شدة الإشعاع تقترب من الصفر. وهكذا فإن درجة حرارة الشمس مثلاً هى 6000°K عند السطح. وهذا يجعل شدة الإشعاع العظمى تقع عند (0.5 micron) 5000A°، أى فى نطاق الطيف المرئى. ولذلك فإن حوالى 40% من الطاقة الإشعاعية للشمس تتكون من ضوء مرئى و 50% تقريبا إشعاع حرارى Infrared Radiation، أما باقى الإشعاع فيقع فى باقى مناطق الطيف. ويمكن الحصول على نفس هذا الشكل من الإشعاع الذى نحصل عليه فى المصباح الكهربى المتوهج، (درجة الحرارة 3000°K) ، ولا نحصل إلا على حوالى 20% ضوء، والباقى فى صورة حرارة، إذ يكون الطول الموجى عند قمة المنحنى حوالى 1micron = 10000 A° = 10^{-6}m= 1000 nm (شكل ١٢-٥). لا يمكن تفسير هذه المشاهدات باستخدام الفيزياء الكلاسيكية. فمن المعروف من الفيزياء الكلاسيكية أنه بما أن الإشعاع موجات كهرومغناطيسية فإن شدة الإشعاع تزداد كلما زاد التردد، فلماذا إذا تقل شدة الإشعاع عند الترددات العالية (شكل ١٢-٦)؟ استطاع العالم بلانك Planck فى عام ١٩٠٠ أن يضع تفسيراً لهذه الظاهرة. ووجد أن هذا المنحنى يتكرر مع كل الأجسام الساخنة التى تشع طيفا متصلا من الإشعاع وليس فقط الشمس، بل الأرض



(شكل١٢-٥)

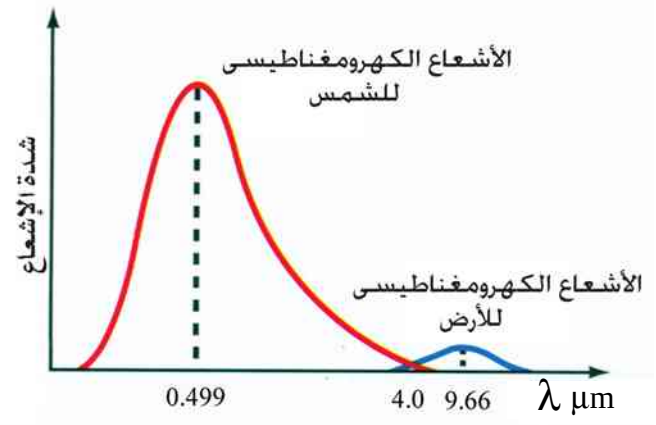
يتناسب الطول الموجى لقمة المنحنى عكسيا مع درجة الحرارة

أيضاً بل والكائنات الحية. ولكن الأرض - باعتبارها جسماً غير متوهج - فإنها تمتص إشعاع الشمس، ثم تشعه مرة أخرى. ولكن لأن درجة حرارتها منخفضة كثيراً بالنسبة للشمس، فإننا نجد الطول الموجى عند قمة المنحنى حوالى 10 micron وهو فى نطاق الأشعة تحت الحمراء Infrared Radiation (شكل ١٢-٧). هناك أقمار صناعية وأجهزة قياس محمولة جوا وأجهزة أرضية تصور سطح الأرض باستخدام مناطق الطيف المختلفة ومن بينها الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من سطح الأرض بالإضافة إلى الضوء فى المجال المرئى (شكل ١٢-٨)، وكذلك باستخدام الموجات الميكرومترية Microwaves والتى تستخدم فى الرادار.



(شكل١٢-٦)

الإشعاع يقل مع زيادة التردد عكس توقعات الفيزياء الكلاسيكية



(شكل ١٢-٧)

مقارنة بين إشعاع الأرض وإشعاع الشمس

يقوم العلماء بتحليل هذه الصور لتحديد مصادر الثروة الطبيعية Earth Resources، كما تستخدم فى التطبيقات العسكرية، مثل أجهزة الرؤية الليلية Night Vision لرؤية الأجسام المتحركة فى الظلام واضحة بفعل ما تشعه من إشعاع حرارى (شكل ١٢-٩ ، ١٢-١٠). كما يستخدم التصوير الحرارى Thermal Imaging فى الطب وخاصة فى مجال الأورام Tomography (شكل ١٢-١١)، والأجنة Embryology، كذلك فى مجال اكتشاف الأدلة الجنائية Criminology، حيث

يبقى الإشعاع الحرارى لشخص فترة بعد انصراف الشخص. وتسمى هذه التقنية الاستشعار عن البعد Remote Sensing. و تعتبر مصر من الدول الرائدة فى هذا المجال.

وسمى بلانك هذه الظاهرة إشعاع الجسم الأسود Black Body Radiation. أما سبب هذه التسمية فلأن الجسم الأسود هو الذى يمتص كل ما يسقط عليه من أشعة ذات أطوال موجية مختلفة. فهو ممتص مثالى Perfect Absorber، ثم يعيد إشعاعه بصورة مثالية، أى يكون باعثا مثاليا Perfect Emitter أيضاً.

(شكل ١٢-٨)

صورة جنوب سيناء بالقمر الصناعى لاند سات

فإذا تصورنا تجويفا Cavity مغلقاً به ثقب صغير، فإن ما بداخل هذا التجويف يبدو أسود ، لأن الإشعاع يظل فى معظمه محصورا بداخله من كثرة الانعكاسات، ولا يخرج إلا جزء يسير منه، وهو ما يسمى إشعاع الجسم الأسود (شكل ١٢-١٢).

استطاع بلانك أن يفسر ظاهرة إشعاع الجسم الأسود بفرض غريب على عصره، هو أن هذا الإشعاع يتألف من وحدات صغيرة أو دفقات من الطاقة يسمى كل منها

(شكل ١٢-٩)

أ-جهاز الرؤية الليلية

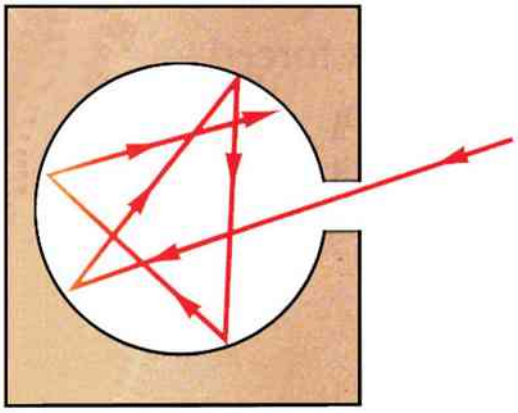
(شكل ١٢-١٠)

صورة ملتقطة بجهاز الرؤية الليلية

الكوانتم (الكم) Quantum أو فوتون Photon. وعلى ذلك فإن الإشعاع الصادر من الجسم المتوهج هو فيض هائل من هذه الفوتونات الصادرة من الجسم المتوهج، تزداد طاقتها كلما زاد ترددها، ولكن عددها يتناقص كلما زادت هذه الطاقة. وهذه الفوتونات تصدر عن تذبذب الذرات. وطاقة هذه الذرات المتذبذبة ليست متصلة وإنما مكماة Quantized، أو غير متصلة Discontinuous، أى منفصلة Discrete. وتأخذ مستويات الطاقة قيماً $E=nh\nu$ حيث h هو ثابت بلانك Js $h=6.625 \times 10^{-34}$ ، و ν هو التردد Frequency (Hertz-Hz). ولا تشع الذرة طالما بقيت فى مستوى واحد. ولكن كلما انتقلت الذرة المتذبذبة من مستوى طاقة عال إلى مستوى طاقة أقل فإنها تصدر فوتونا طاقته $E = h\nu$. وبذلك توجد فوتونات ذات طاقة عالية إذا كانت ν كبيرة، وفوتونات ذات طاقة منخفضة إذا كانت ν صغيرة. وحيث أن الإشعاع يتألف من بلايين من هذه الفوتونات، فنحن لا نلاحظ هذه الفوتونات منفصلة، ولكن نلاحظ خواص الإشعاع الصادر ككل. وهذه الخواص التى تعبر عن فيض الفوتونات هى الخواص الكلاسيكية للموجات. ويوضح شكل (١٢-١٣) صورة ملتقطة بكمية إضاءة تزداد تدريجيا أى يزداد عدد الفوتونات بكل لقطة، علما بأن العين قادرة على الإحساس حتى بفوتون واحد ساقط عليها.

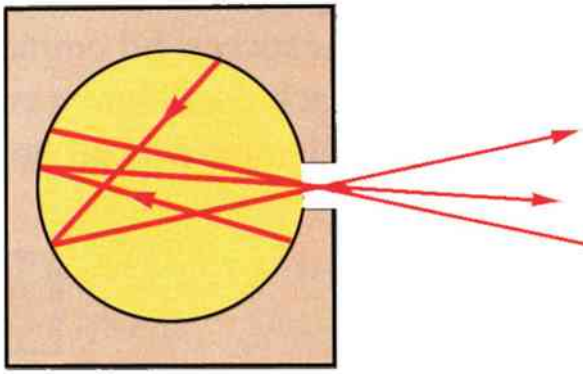
(شكل ١٢-١١)

صورة حرارية للوجه والرقبة



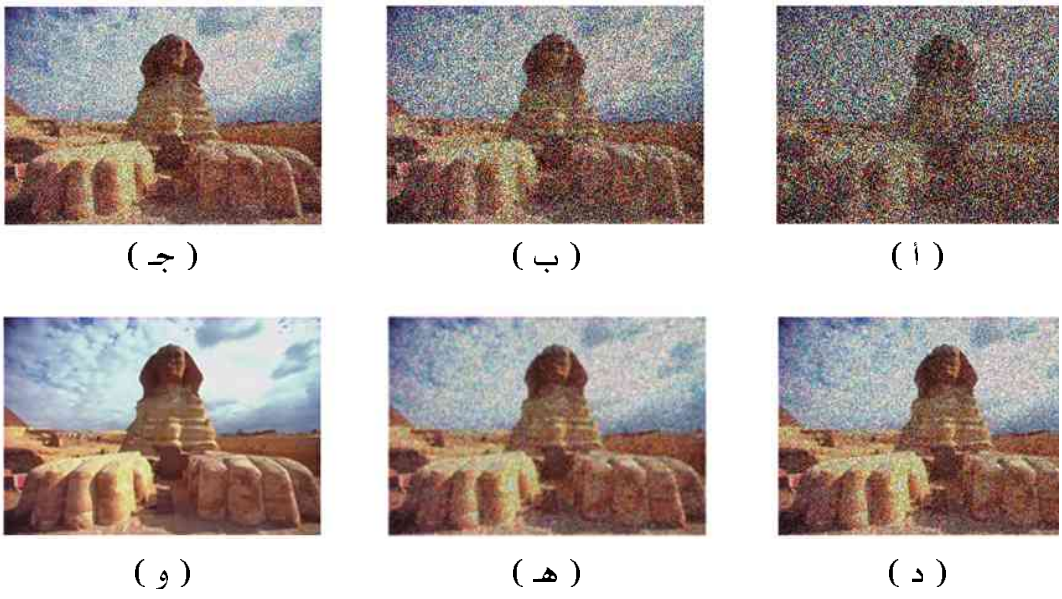
(شكل ١٢-١٢ أ)

ما يسقط داخل التجويف لا يخرج فيبدو أسود



(شكل ١٢-١٢ ب)

ما يخرج من التجويف خلال الثقب جزء يسير يسمى اشعاع الجسم الأسود

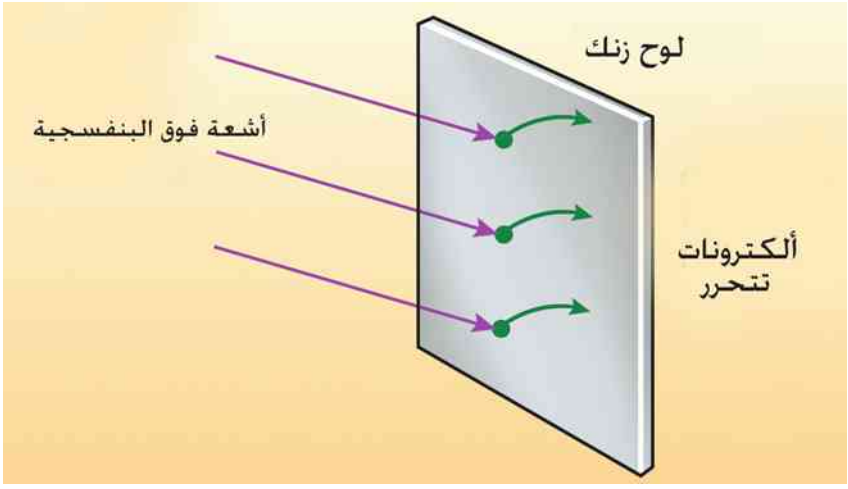


(شكل ١٢-١٣)

صورة يتغير فى كل لقطة منها عدد الفوتونات الساقطة
حيث يزداد من أ إلى و

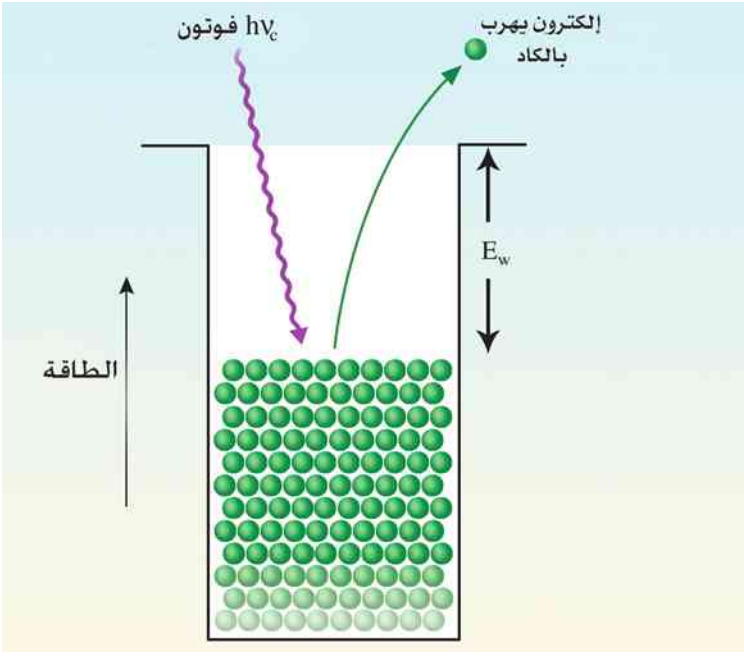
التأثير الكهروضوئى Photoelectric Effect:

يحتوى المعدن على أيونات موجبة وإلكترونات حرة تستطيع أن تتحرك داخل المعدن، ولكنها لا تستطيع أن تغادره بسبب قوى التجاذب التى تجذبها دائما للداخل، وهو ما يسمى حاجز جهد السطح Surface Potential Barrier. ولكن يمكن لبعض هذه الإلكترونات أن تخرج إذا أعطيناها طاقة حرارية أو ضوئية مثلا (شكل ١٢-١٤). وهى فكرة أنبوبة شعاع الكاثود Cathode Ray Tube (CRT) وهى التى تستخدم فى شاشة التليفزيون والكمبيوتر (شكل ١٢-١٥)، حيث تتكون هذه الأنبوبة من سطح معدنى يسمى المهبط أو الكاثود Cathode، يتم تسخينه بواسطة فتيلة التسخين Filament. فتنطلق بعض الإلكترونات من المدفع الألكترونى E- Gun بفعل الحرارة، متغلبة على قوى الجذب عند السطح ، حيث تلتقطها الشاشة المتصلة بقطب موجب يسمى المصعد أو الأنود Anode، مما يسبب تياراً فى الدائرة الخارجية. وعندما تصطدم هذه الإلكترونات بالشاشة فإنها تصدر ضوءاً تختلف شدته من نقطة لأخرى، حسب شدة الإشارة الكهربية المرسلة التى تتحكم فى شدة تيار الإلكترونات بواسطة شبكة خاصة Grid تعترض طريق هذه الإلكترونات. ويمكن توجيه حزمة الإلكترونات E-beam بواسطة مجالات كهربية أو



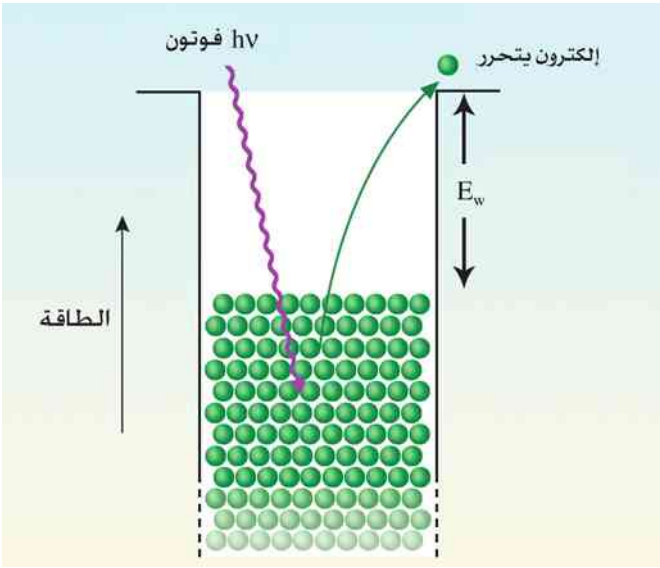
(شكل ١٢-١٤ أ)

يمكن أن يتحرر الإلكترون من المعدن إذا أعطى طاقة كامنة



(شكل ١٢-١٤ ب)

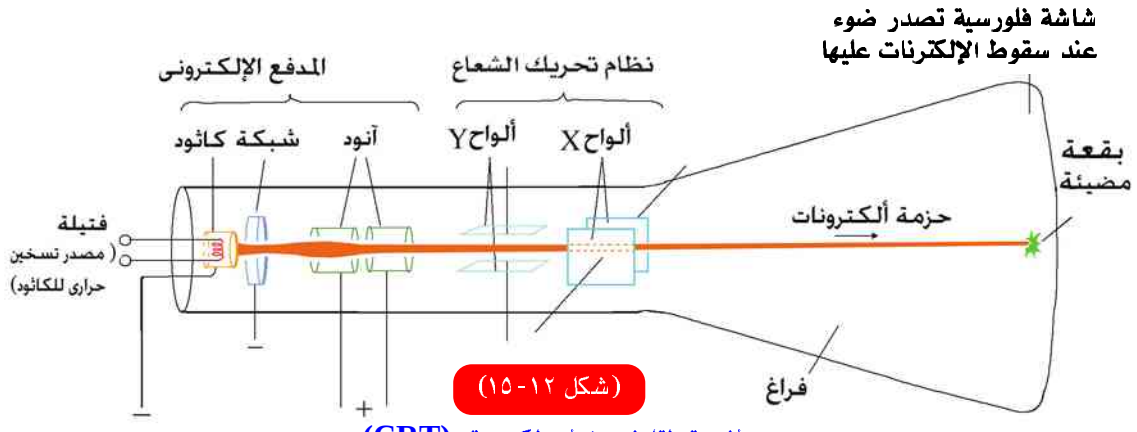
أقل طاقة يمكن أن تحرر الإلكترون (دالة الشغل)



(شكل ١٢-١٤جـ)

الإلكترون الأكثر ارتباطا يحتاج إلى طاقة أكبر

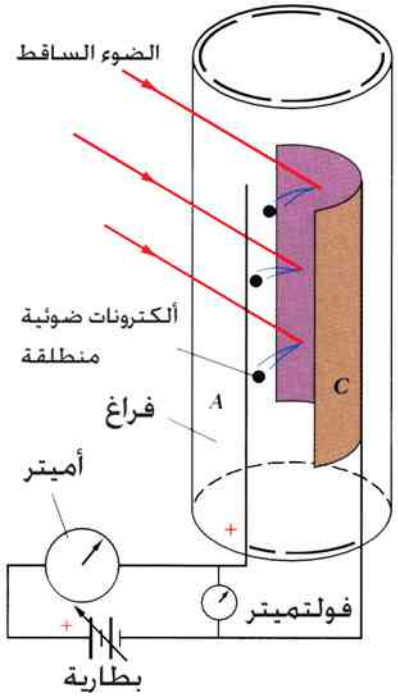
مغناطيسية لمسح الشاشة نقطة بنقطة Raster حتى تكتمل الصورة (شكل ١٢-١٥). وعندما يسقط ضوء على الكاثود بدلاً من تسخين الفتيلة، فإن تياراً يمر أيضاً فى الدائرة. ومعنى ذلك أن الإلكترونات تحررت بفعل الضوء. وتسمى ظاهرة انطلاق الإلكترونات بسبب سقوط ضوء على سطح معدنى ظاهرة التأثير الكهروضوئى Photoelectric Effect (شكل ١٢-١٦). لا يمكن تفسير هذه الظاهرة بالنظرية الكلاسيكية للضوء. فبإعتبار أن الضوء موجات، يمكن أن يمتص بعضها فى المعدن، أى تعطى موجات الضوء طاقة للإلكترونات لتنطلق. عندئذ فإننا نواجه عدة مشكلات فى فهم ما يحدث فى المشاهدة العملية. فإنه طبقا لهذا التصور الكلاسيكى، فإن شدة التيار أو انطلاق



(شكل ١٢-١٥)

أنبوبة التليفزيون أو الكمبيوتر (CRT)

الإلكترونات (والتى تسمى الإلكترونات الكهروضوئية Photoelectrons) يتوقف على شدة الموجة الساقطة، بصرف النظر عن ترددها، وأن الطاقة الحركية للإلكترونات المنطلقة (أو سرعتها) يجب أن تزداد مع زيادة شدة الإضاءة. وكذلك حتى لو كانت شدة الإضاءة قليلة، فإن تسليط الضوء لمدة طويلة كفيل بإعطاء الإلكترونات الطاقة اللازمة لتتحرر، بصرف النظر عن تردد موجة الضوء الساقط.



(شكل ١٢-١٦)
تيار كهروضوئى ينشأ عن امتصاص فوتونات على سطح معدنى

ولكن المشاهدة العملية تختلف تماماً عن هذه التوقعات المبنية على النظرية الكلاسيكية. فقد لوحظ أن انطلاق الإلكترونات يتوقف بالدرجة الأولى على تردد الموجة الساقطة وليس شدتها. إذ لا تنطلق هذه الإلكترونات إلا إذا كان تردد الضوء الساقط أعلى من قيمة حرجة ν_c مهما كانت الشدة. أما إذا زاد التردد عن ν_c فإن التيار الكهروضوئى يزداد مع الشدة (شكل ١٢-١٧). ثم أن الطاقة الحركية للإلكترونات المنطلقة - أى سرعتها - تتوقف على تردد الموجة الساقطة أيضا وليس على شدتها. وان انطلاق الإلكترونات يحدث لحظيا. ولا تكون هناك فترة انتظار لتجميع الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترونات إذا كانت شدة الإضاءة ضعيفة. بل إن الإلكترونات تنطلق فى التو واللحظة، حتى لو كانت شدة الإضاءة ضعيفة، ولكن بشرط أن يكون تردد الضوء أكبر من الحد الحرج ν_c.

تمكن أينشتين Einstein من أن يفسر هذه المشاهدات التى عجزت النظرية الكلاسيكية للضوء عن تفسيرها. فاز أينشتين بجائزة نوبل فى الفيزياء عن هذا التفسير عام ١٩٢١م باكتشافه قانون التأثير الكهروضوئى.

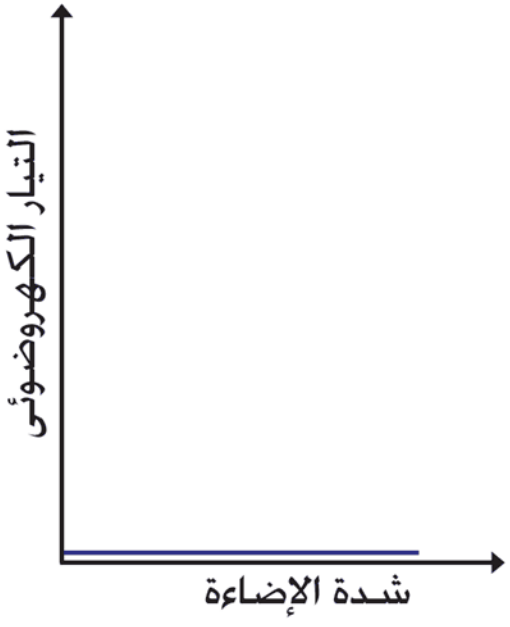
يتلخص هذا التفسير فيما يلى:

إذا سقط فوتون طاقته $h\nu$ على سطح معدنى، وكانت هذه الطاقة أكبر من حد معين $h\nu_c$، يساوى ما يسمى دالة الشغل ويرمز لها بالرمز E_w Work Function ، وهى الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون من سطح المعدن (شكل ١٢-١٤)، فإن هذا الفوتون

يستطيع بالكاد أن يحرر إلكتروناً، أى أن:

$$h\nu_c = E_w$$

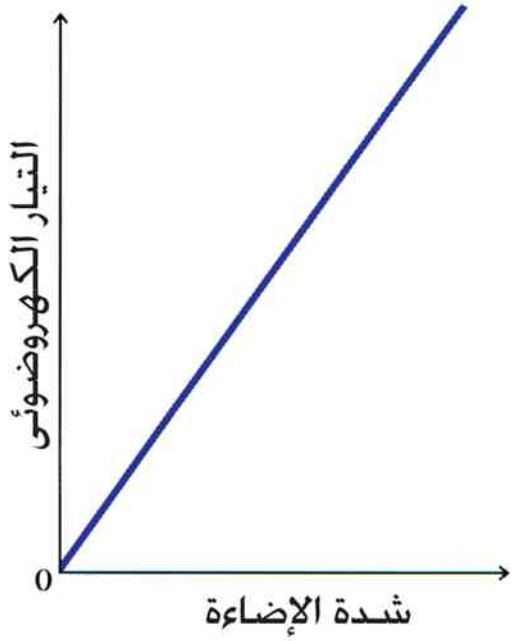
فإذا زادت طاقة الفوتون الساقط عن ذلك، فإن الالكترون يتحرر، وفرق الطاقة يظهر على شكل طاقة حركية Kinetic Energy (KE)، أى يتحرك بسرعة أكبر، وتزداد هذه الطاقة الحركية بزيادة التردد، أما إذا كانت $h\nu$ أقل من E_w، فإن الالكترون لا يتحرر، مهما كانت شدة الإضاءة. كذلك فإن انطلاق الالكترونات يحدث لحظياً، ولا يكون هناك فترة إنتظار لتجميع الطاقة، بشرط أن تكون طاقة الفوتون $h\nu$ أكبر من E_w، وعلى ذلك فإنه $h\nu_c$ (حيث ν_c هى التردد الحرج) تتوقف فقط على E_w أى نوع المادة، ولا تتوقف على شدة الضوء، ولا زمن التعرض للضوء، ولا فرق الجهد بين المهبط والمصعد.



(شكل ١٢-١٧ ا)

إذا كانت $\nu < \nu_c$

تغير التيار الكهروضوئى مع شدة الإضاءة



(شكل ١٢-١٧ ب)

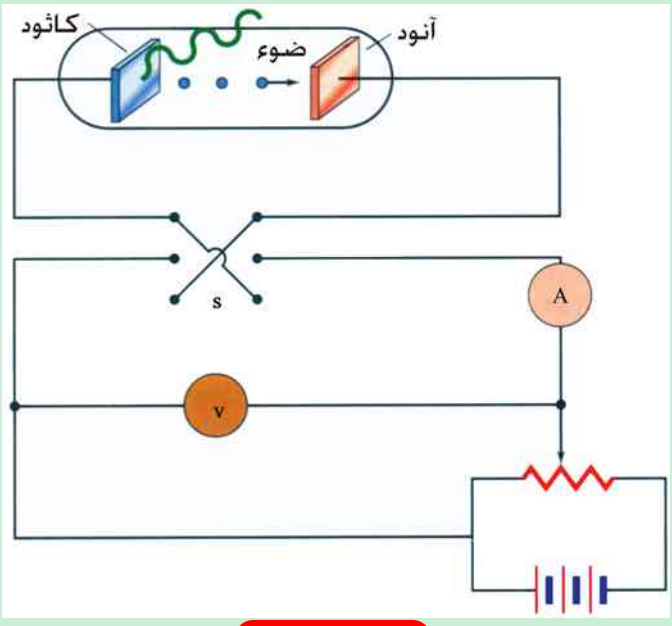
إذا كانت $\nu > \nu_c$

تغير التيار الكهروضوئى مع شدة الإضاءة

معلومة إثرائية

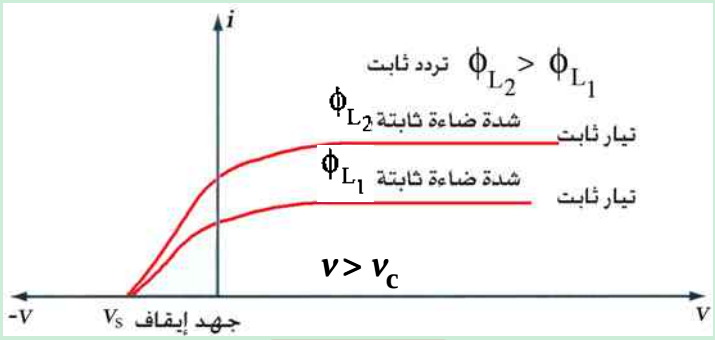
تفسير التأثير الكهروضوئى

لقياس سرعة انطلاق الإلكترونات الكهروضوئية، أو طاقة حركتها، فإننا نجعل فرق الجهد بين المهبط والمصعد سالباً، بحيث يعرقل المجال الكهربى الإلكترونات الكهروضوئية المنبعثة من المهبط، قبل أن تصل إلى المصعد. وذلك بوضع فرق جهد سالب يكفى لمنع التيار تماما، ويسمى ذلك جهد الايقاف Stopping Voltage V_s. أى أن هذه الإلكترونات لا تكاد تصل إلى المصعد. ويكون V_s لذلك هو أقل جهد سالب يمنع التيار. أي تكون طاقة الحركة عند المصعد = صفر. وبذلك تكون طاقة حركة الإلكترونات المنبعثة من سطح الكاثود بالكاد لتصل هذه الألكترونات إلى الأنود (يكون التيار صفرا) ، وهى أقصى طاقة حركة ممكنة للإلكترونات عند الكاثود فى وجود V_s السالبة؛ حين ينعدم التيار بالكاد عند الآنود. ولذلك تسمى عادة النهاية العظمى لطاقة الحركة. ومن قانون بقاء الطاقة



(شكل ١٢-١٨أ)

دائرة لقياس علاقة التيار الكهروضوئى بفرق الجهد



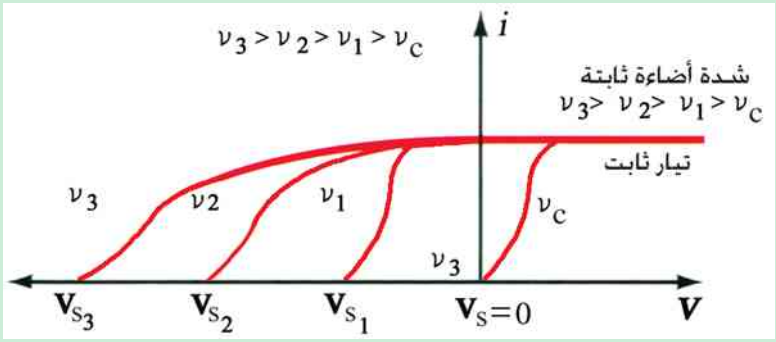
(شكل ١٢-١٨ب)

علاقة التيار الكهروضوئى بفرق الجهد لشدة إضاءة متغيرة

$$-eV_S + KE_{max} = 0$$

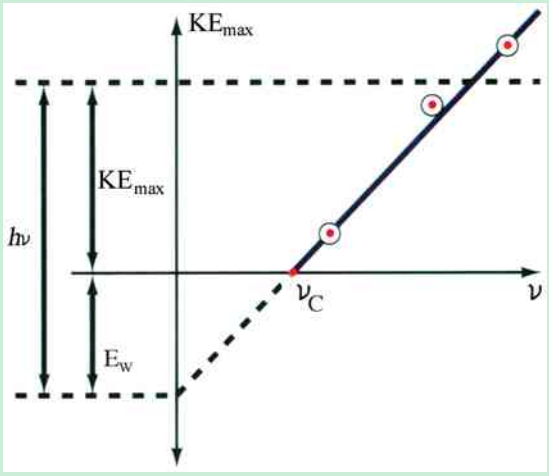
أى أن

$$V_S = \frac{1}{e} KE_{max} \qquad (12\text{-}1)$$



(شكل ١٢-١٩أ)

أ) قياس KE_{max} لقيم مختلفة للتردد مع ثبوت عدد الفوتونات الساقطة فى الثانية.



(شكل ١٢-١٩ب)

العلاقة الخطية بين KE_{max} والتردد ν

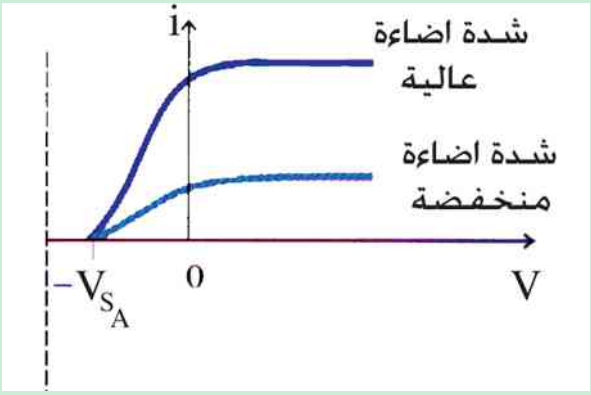
حيث e هى شحنة الإلكترون.

وبذلك يكون V_S مقياسا لأقصى طاقة حركة يخرج بها الإلكترون فى ظاهرة التأثير الكهروضوئى، فإذا كانت طاقة الفوتون الساقط $h\nu$ فإن:

$$h\nu = E_w + KE_{max}$$

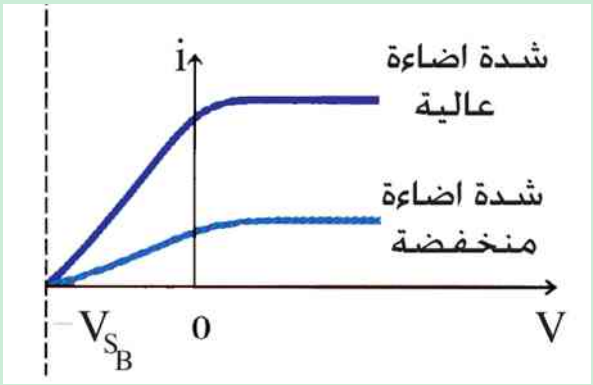
$$KE_{max} = h\nu - E_w$$

أى أن KE_{max} تتناسب طردياً مع $h\nu$، بصرف النظر عن شدة الإضاءة φ_L (أو عدد الفوتونات الساقطة)، وإذا انخفضت ν إلى ν_c بحيث $h\nu_c = E_w$ عندها يكون KE_{max} تساوى صفراً، وبالتالى V_S تساوى صفراً ، أى لا تحتاج الإلكترونات الكهروضوئية إلى جهد إيقاف (شكل ١٢ - ١٩) لينعدم التيار ،



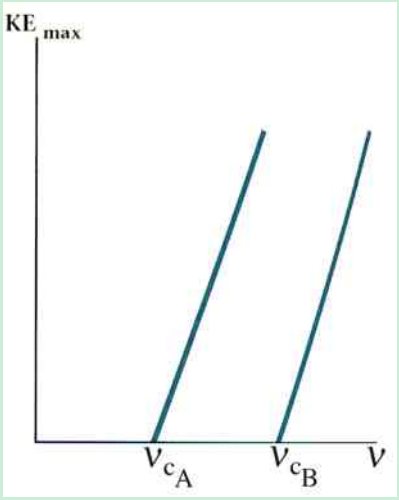
(شكل ١٢ - ٢٠أ)

علاقة الجهد بالتيار الضوئى لمادة (A).



(شكل ١٢ - ٢٠ب)

علاقة الجهد بالتيار الضوئى لمادة (B).



(شكل ١٢ - ٢٠جـ)

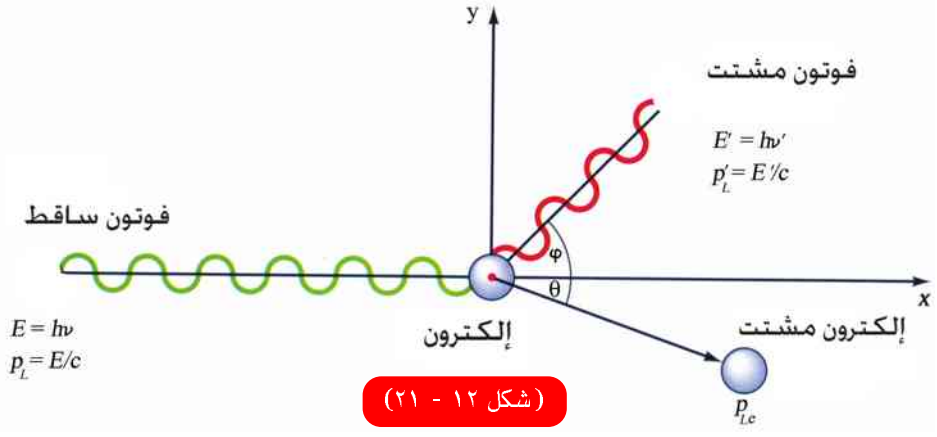
علاقة KE_{max} مع V لمواد مختلفة

ظاهرة كومتون Compton Effect

لوحظ أنه عند سقوط فوتون (من أشعة إكس أو جاما) على إلكترون حر أن تردد الفوتون يقل ويغير اتجاهه، وتزداد سرعة الإلكترون ويغير اتجاهه (شكل ١٢ - ٢١). ولا يمكن تفسير ذلك بالنظرية الموجية (الكلاسيكية). إنما يمكن تفسير ذلك من خلال فرض بلانك أن الاشعاع الكهرومغناطيسى مكون من فوتونات، وأن هذه الفوتونات يمكن أن تصطدم بالإلكترونات، كما تصطدم كرات البلياردو. عندئذ لابد من بقاء كمية الحركة Conservation of Momentum. أى أن كمية الحركة قبل التصادم تساوى كمية الحركة بعد التصادم. وكذلك قانون بقاء الطاقة Conservation of Energy أى أن (طاقة الفوتون + طاقة الإلكترون) قبل التصادم = (طاقة الفوتون + طاقة الإلكترون) بعد التصادم. ومن ثم، فإننا لابد أن نعتبر أن الفوتون جسيم له كمية حركة، أى سرعة وكتلة، كما للإلكترون سرعة وكتلة، وبالتالى كمية حركة.

خواص الفوتون:

من كل ما سبق من مشاهدات وتجارب، فإن الفوتون هو كم من الطاقة مركز فى حيز صغير جدا، وله كتلة وله كمية حركة. طاقته تساوى hν، وهو يتحرك باستمرار بسرعة الضوء c، وهى ثابتة مهما كان التردد. وقد أثبت أينشتين أن الكتلة والطاقة ترتبطان بعلاقته الشهيرة $E = mc^2$. أى أن فقد الكتلة يظهر على شكل طاقة. وهذا هو أساس القنبلة الذرية (شكل ١٢ - ٢٢)، حيث وجد أن انشطار النواة يصحبه فقد كتلة صغيرة جداً، ولكنه يتحول إلى طاقة كبيرة جدا حيث أن مربع سرعة الضوء كمية كبيرة جداً ($c^2 = 9 \times 10^{16}\ m^2/s^2$). ولذلك فإن قانون بقاء الكتلة وقانون بقاء الطاقة



(شكل ١٢ - ٢١)

ظاهرة كومتون

(شكل ١٢ - ٢٢)

القنبلة الذرية

يندمجان فى قانون بقاء الكتلة والطاقة معا. ومعنى ذلك أن الفوتون الذى طاقته $h\nu$ تكون كتلته $h\nu/c^2$ أثناء حركته. وحيث أن سرعته c، فإن كمية الحركة وهى حاصل ضرب الكتلة فى السرعة تصبح $h\nu/c$. فإذا سقط شعاع من الفوتونات على سطح ما بمعدل ϕ_L Photons/s فإن كل فوتون يسقط على السطح وينعكس عنه، يعانى تغيراً فى كمية الحركة يساوى 2mc . إذاً القوة التى تؤثر بها حزمة الفوتونات على السطح هى التغير فى كمية الحركة فى الثانية.

$$F = 2mc\phi_L$$

$$F = 2\left(\frac{h\nu}{c}\right)\phi_L = \frac{2P_w}{c} \qquad (12\text{-}2)$$

حيث P_W هى القدرة بالوات Watts للطاقة الضوئية الساقطة على السطح. هذه القوة صغيرة جداً فلا تؤثر تأثيرا ملحوظا على سطح الحائط، ولكنها يمكن أن تؤثر على إلكترون حر لصغر كتلته وحجمه، فتقذفه بعيدا. وهذا هو تفسير ظاهرة كمبتون.

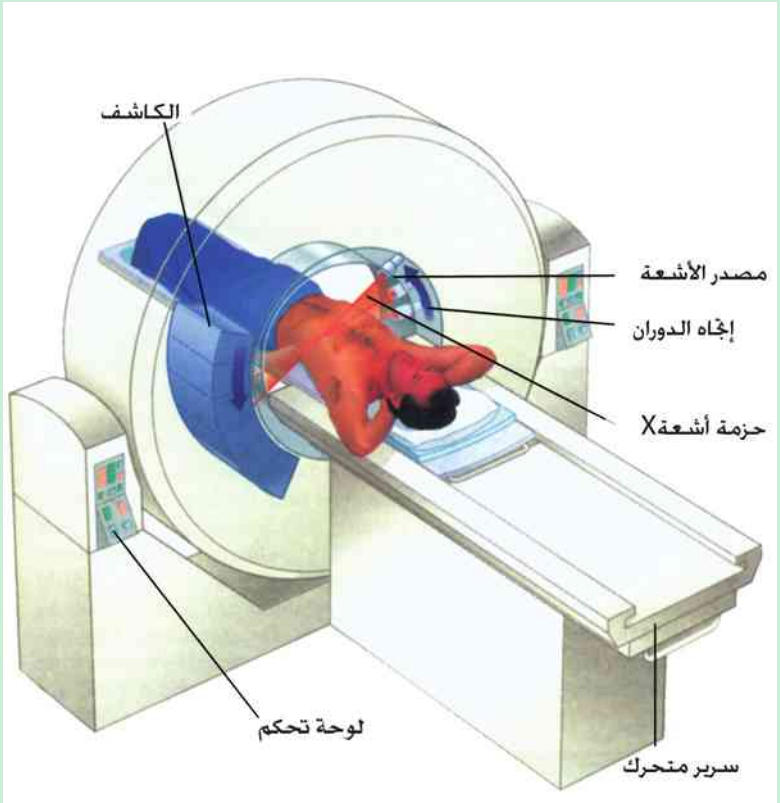
وفى النموذج الميكروسكوبى (المجهرى)، يمكن تصور الفوتون على أنه كرة نصف قطرها يساوى الطول الموجى للموجة λ، تتذبذب بمعدل ν . ومجموع هذه الفوتونات لها مجال كهربى ومجال مغناطيسى، والمجالان متعامدان على بعضهما البعض، وعلى اتجاه سريان حزمة الفوتونات. ولذلك فإننا نعتبر أن حزمة الفوتونات تحمل الطاقة التى يحملها شعاع الضوء. ونستطيع أن نراقب الخواص الموجية فى سلوك حزمة الفوتونات ككل، وشدة الموجة ـ ومقياسها شدة المجال الكهربى أو شدة المجال المغناطيسى المصاحب لشعاع الضوء ـ تدل على مدى تركيز الفوتونات. أى أن الحركة الموجية تكون مصاحبة لتيار فوتونات بأعداد كبيرة، وهذا ما يسمى النموذج الماكروسكوبى (أى الكبير) أى أن النموذجين الماكروسكوبى والميكروسكوبى مرتبطان ببعضهما البعض.

فإذا كان الأمر يتعلق بما يحدث على مستوى الإلكترون أو الذرة، فإننا نستخدم نموذج الفوتون وهو النموذج الميكروسكوبى. ولكن الخاصية الموجية والخاصية الجسيمية للفوتونات متلازمتان. المهم أن نفهم كيف نطبق كلا فى مكانه، حسب حجم العائق الذى يعترض طريق الضوء. فإن كان العائق له أبعاد أكبر بكثير من λ، طبقنا النموذج الماكروسكوبى. أما إذا كان العائق على مستوى الذرة أو الإلكترون أى فى حدود λ، فإننا لابد أن نتعامل مع النموذج الميكروسكوبى أى الفوتون.

معلومة إثرائية

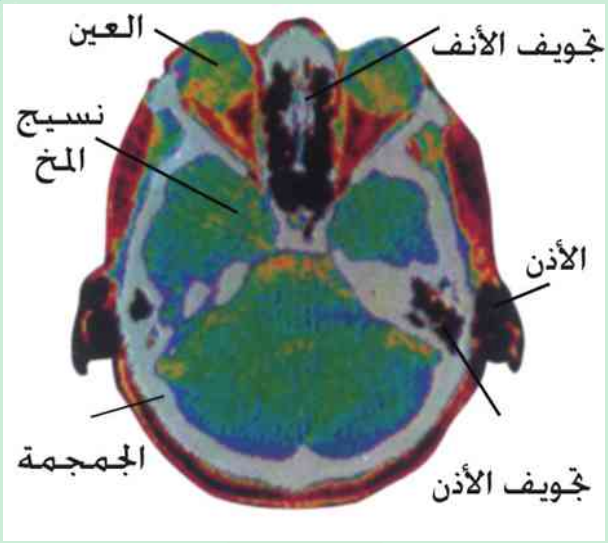
الأشعة المقطعية

تستخدم أشعة إكس فى الكشف عن الأورام. وتسمى هذه التقنية اكتشاف الأورام بواسطة الكمبيوتر Cumputerized Tomography (CT) Scan. تمرر حزمة من أشعة إكس خلال الجسم بزوايا مختلفة، لعمل صور تحتوى على تفاصيل دقيقة على شكل شرائح مقطعية تسمى Tomograms، تصدر الأشعة من مصدر أشعة إكس. ثم تنفذ الأشعة فى الجسم، ثم يستقبلها الكاشف Detector ، ثم يدار كل من المصدر والكاشف حول الجسم لمسح مجموعة كبيرة من



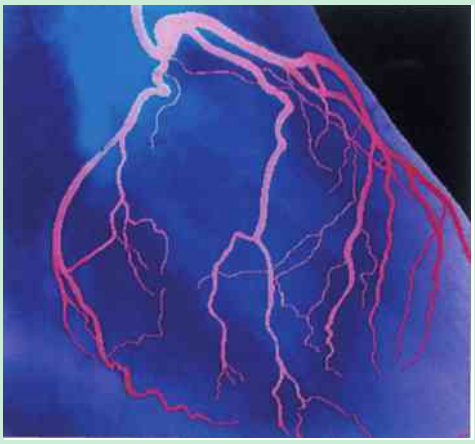
(شكل ١٢ - ١٢٣)
جهاز CT

المقاطع، ثم يقوم الكمبيوتر بتجميع هذه المعلومات وإخراج الصورة، على شكل مقطع ، ويمكن تغيير موضع هذا المقطع عن طريق الحركة المحورية Axial Motion للحصول على مقطع جديد، وهكذا (شكل ١٢ - ٢٣).



(شكل ١٢ - ٢٣ب)

صورة مقطعية للدماغ



(شكل ١٢ - ٢٣جـ)

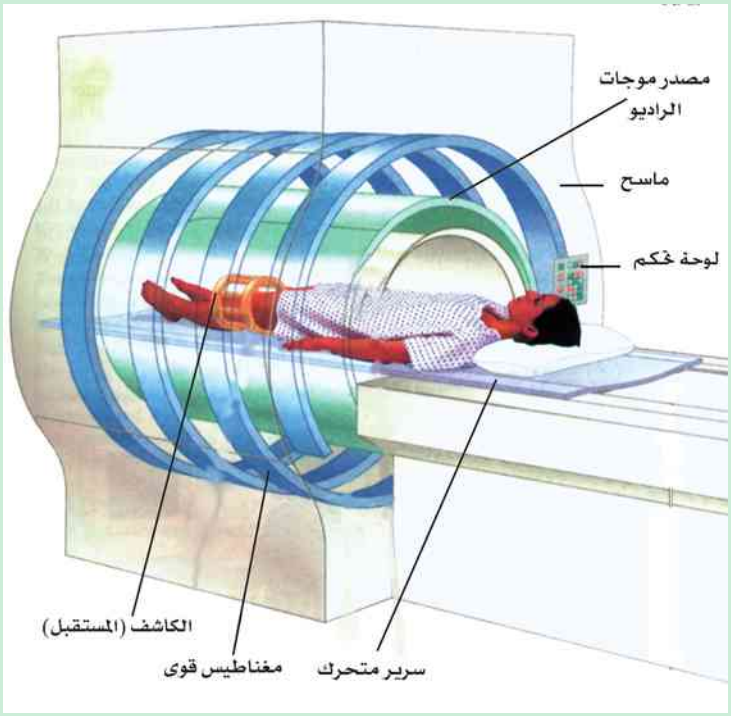
صورة أوعية دموية باستخدام صبغة وأشعة إكس

(شكل ١٢ - ٢٣د)

مقطع فى البطن يبين الكبد والكلى والعمود الفقرى

يمتاز التصوير بالرنين المغناطيسى Magnetic Resonance Imaging (MRI) بأنه لا يستخدم أشعة إكس لما قد يكون لها من آثار ضارة، بل يستخدم مغناطيساً وموجات راديو Radio Wave، وله قدرة فائقة على تمييز الأورام. ويعتمد أيضا على أخذ أشعة مقطعية.

وطريقة عمله هى أن يرقد المريض على سرير متحرك يحيط به مغناطيس كبير قوى من مادة فائقة التوصيل Superconductor، ويوضع مغناطيس كاشف مستقبل Receiving Magnet، يستقبل نبضات موجات الراديو. يعمل المغناطيس القوى على ترتيب الحركة المغزلية Spin لنوى ذرات الهيدروجين. ولكن موجات الراديو RadioFrequency (RF) التى ينتجها مصدر تعمل على تغيير هذا الترتيب ، ثم توقف هذه الموجات. فتعود الذرات إلى



(شكل ١٢ - ٢٤أ)

جهاز MRI

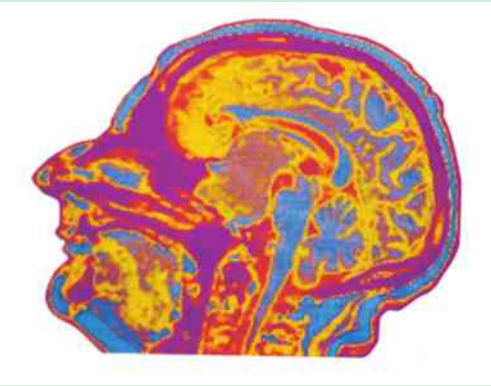
(شكل ١٢ - ٢٤ب)

صورة العمود الفقرى

(شكل ١٢ - ٢٤جـ)

صورة ركبة

الترتيب الأول، وتصدر هى طاقة على شكل موجات راديو، يستقبلها الكاشف المستقبل، ليقوم الكمبيوتر بتجميع هذه المعلومات، وتحويلها إلى صورة مقطعية توضح تجمعات الماء (الهيدروجين) بالجسم، مما يفيد فى تحديد الأورام (شكل ١٢ - ٢٤).



(شكل ١٢ - ٢٤د)

صورة المخ

مثال :

احسب القوة التى يؤثر بها شعاع قدرته 1 W على سطح حائط.

الحل

$$F = \frac{2\,P_w}{c} = \frac{2 \times 1}{3 \times 10^8} = 0.67 \times 10^{-8}\ N$$

وهذه القوة لاتكاد تؤثر على الحائط

علاقة الطول الموجى للفوتون بكمية الحركة الخطية

$$\lambda = c/\nu$$

بضرب البسط والمقام فى h

$$\lambda = \frac{hc}{h\nu} = \frac{h}{h\nu/c}$$

$$\because\ P_L = mc$$

$$= \frac{h\nu}{c^2}\ c$$

$$= \frac{h\nu}{c}$$

$$\therefore\ \boxed{\lambda = \frac{h}{P_L}} \qquad (12-3)$$

أى أن الطول الموجى هو ثابت بلانك مقسوما على كمية الحركة P_L. يلاحظ أنه عند سقوط فوتونات على سطح ما، فإن مقارنة تحدث بين λ والمسافة البينية لذرات السطح. إذا كانت λ أكبر بكثير من المسافات البينية، فإن الفوتونات تعامل هذا السطح

كسطح متصل، وتنعكس منه، كما فى النظرية الموجية. أما إذا كانت المسافات البينية مقاربة للطول الموجى λ، فإن الفوتونات تنفذ من خلال الذرات. وهذا ما يحدث مثلا فى حالة أشعة X.

مثال:

احسب كتلة الفوتون وكمية حركته إذا كان $\lambda = 380nm$

الحل

$$\nu = c/\lambda = \frac{(3x10^{8}\ m/s)}{(380)\ (1x10^{-9}m)}$$

$$= 7.89\ x10^{14}\ Hz$$

$$m = E/c^2 = h\nu/c^2 = \frac{(6.625\ x\ 10^{-34}\ Js)\ (7.89x10^{14}\ s^{-1})}{(3x10^{8}m/s)^2}$$

$$= 5.81x10^{-36}\ kg$$

$$P_L = h/\lambda = \frac{(6.625\ x\ 10^{-34}\ Js)}{(380)\ (1x10^{-9}m)}$$

$$= 1.74x10^{-27}\ kgm/s$$

الطبيعة الموجية للجسيم :

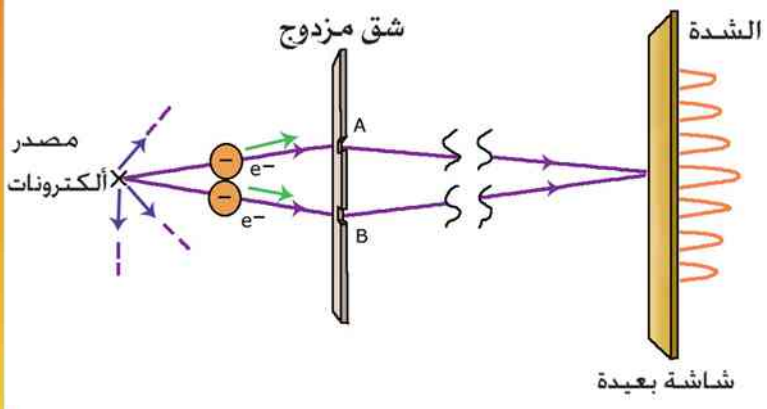
فى الكون قدر كبير من التماثل Symmetry. فإذا كانت الموجات لها طبيعة جسيمية، فلماذا لا يكون للجسيم طبيعة موجية؟ هذا التناظر Wave Particle Duality صاغه دى برولى De Broglie عام ١٩٢٣، بأن الجسيم له طبيعة موجية طولها الموجى

$$\lambda = h/P_L \qquad (12-4)$$

حيث P_L هى كمية حركة الجسيم، وهى معادلة مماثلة لمعادلة الفوتون.

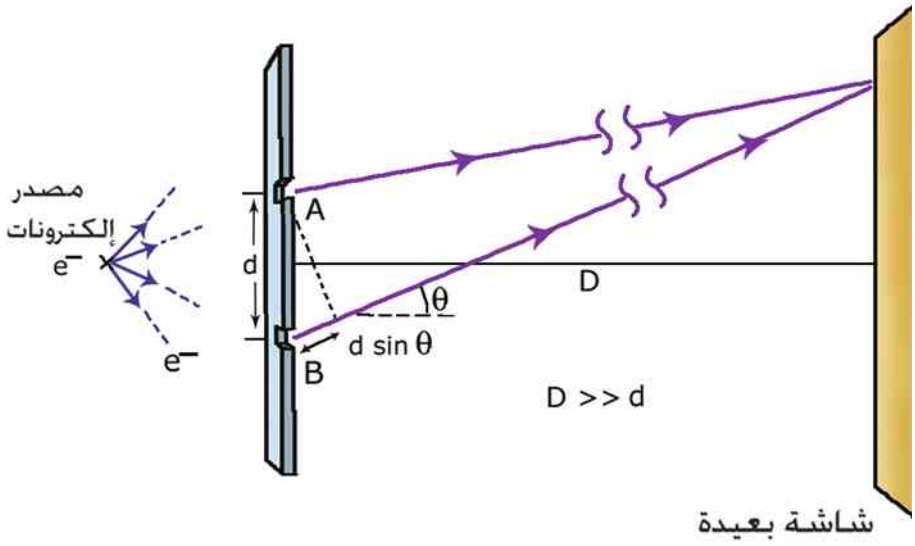
ولكن ما معنى ذلك؟ أننا ننظر إلى الضوء على أنه مجموعة هائلة من الفوتونات، فى إجمالها معا لها موجة مصاحبة تصف سلوكها الجماعى من انتشار وانعكاس وانكسار وتداخل وحيود، بحيث تصف شدة الموجة تركيز الفوتونات، كما لو كان الفوتون يحمل الصفات الوراثية للموجة، من حيث التردد والطول الموجى والسرعة. بنفس المنطق ، فإننا ننظر إلى شعاع من الإلكترونات على أنه مجموعة هائلة من الإلكترونات فى إجمالها لها موجة مصاحبة تصف سلوكها الجماعى. أما الإلكترون على حدة فهو أيضا يحمل الصفات الوراثية للكل، من حيث الشحنة والكتلة والدوران حول نفسه

(اللف المغزلى) Spin وكمية الحركة. وعلى هذا يكون للموجة المصاحبة طول موجى. ويعنى ذلك أن شدة الموجة المصاحبة تدل أيضا على تركيز الإلكترونات، ويكون للموجة المصاحبة خواص الانتشار والانعكاس والانكسار والتداخل والحيود، تماما كالضوء (شكل ١٢ - ٢٥). ولكن هل معنى ذلك أنه يمكن استخدام شعاع من الإلكترونات كما نستخدم شعاعا من الضوء؟ الإجابة نعم، والدليل على ذلك هو اكتشاف الميكروسكوب الإلكترونى.



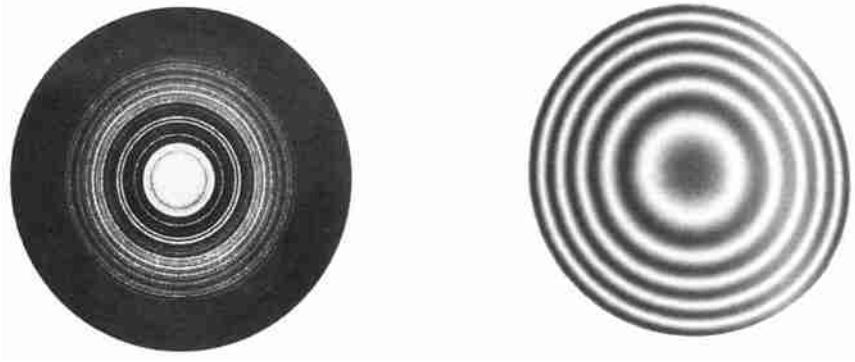
(شكل ١٢ - ٢٥ أ)

حيود الالكترونات فى شق مزدوج



(شكل ١٢ - ٢٥ ب)

حساب فرق المسار بين شعاعين من شق مزدوج

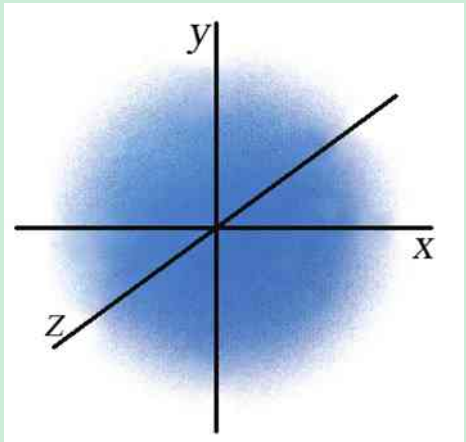


نموذج الحيود فى الضوء نموذج الحيود فى الالكترونات

(شكل ١٢ - ٢٥ جـ)

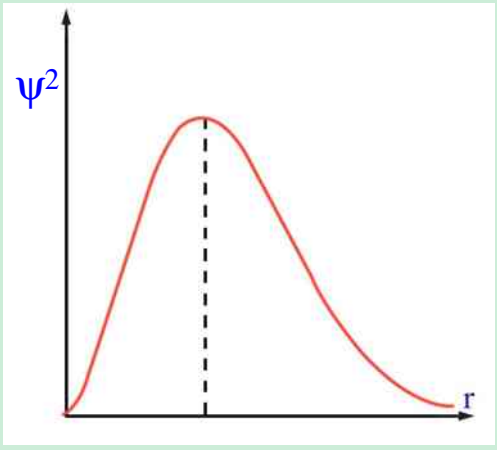
معلومة إثرائية

موجة الإلكترون



(شكل ١٢ - ٢٦ أ)

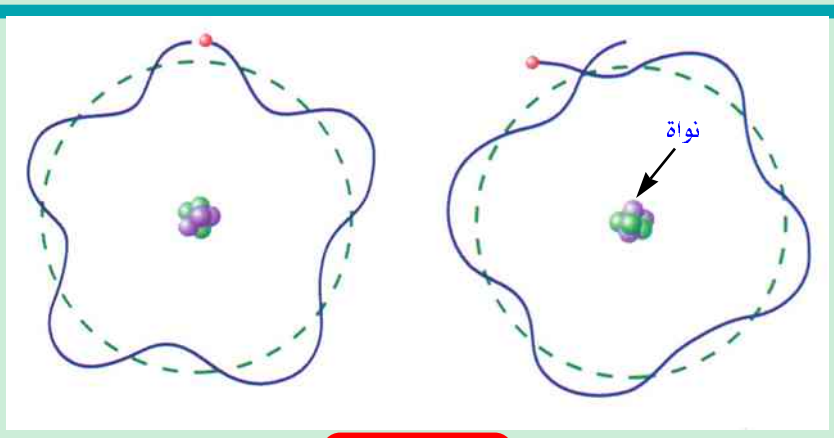
سحابة الكترونية كروية



(شكل ١٢ - ٢٦ ب)

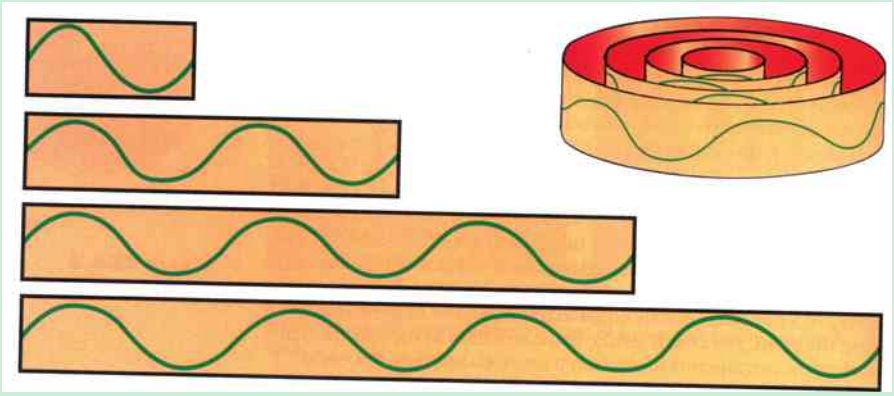
دالة احتمالية تواجد الالكترون حول النواة

إذا كان هناك طول موجى للإلكترون فما هى طبيعة الموجة المصاحبة للإلكترون، هل هى موجة كهرومغناطيسية مثلا؟ الإجابة لا. الموجة هنا تعبر عن طبيعة احتمالية. يعبر عن هذه الموجة بالرمز ψ، بحيث يكون ψ^2 هى احتمالية وجود الإلكترون فى موضع ما. ويلاحظ أن الاحتمال ψ^2 لابد أن يكون موجبا . فإذا تأملنا احتمال تواجد الإلكترون داخل الذرة فقد أوضح هيزنبرج Heisenberg اننا لا نستطيع أن نحدد مكان الإلكترون داخل الذرة على وجه اليقين، ولكن ψ^2 تصف احتمال تواجد إلكترون داخل الذرة كدالة



(شكل ١٢ - ٢٧أ)

المدار هو عدد صحيح للطول الموجى كموجة مرتحلة تنطبق
نقطة بدايتها مع نقطة نهايتها

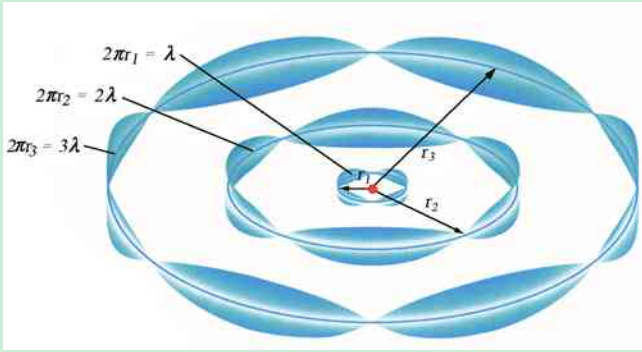


(شكل ١٢ - ٢٧ب)

حسب هذا التصور فإن طول المدار عدد صحيح من الأطوال الموجية

لبعد الإلكترون عن النواة (شكل ١٢ - ٢٦). يلاحظ أن احتمال وجود الإلكترون على النواة صفر (حتى لا يسقط الإلكترون فى النواه ويتلاشى الكون). واحتمال وجود الإلكترون على مسافة بعيدة عن النواة صفر وإلا تأينت الذرة ، وهذا لا يحدث إلا بمؤثر خارجى. أى تكون طاقة الإلكترون داخل الذرة أقل مما هى وهو خارجها بمقدار طاقة التأين. وبذلك يظل الإلكترون محبوسا فى الذرة. ثم أوضح هيزنبرج أيضا أنه لا يجوز وصف حركة الإلكترون فى مدار بمقدار ثابت. ولكن

يمكن تصور أن المدار هو المسار الذى يحتوى على عدد صحيح من الأطوال الموجية الذى يتكون عليه أيضاً موجة موقوفة Standing Wave للدالة ψ (شكل ١٢ - ٢٧)، أو المسار الذى تكون ψ^2 عنده أكبر قيمة (شكل ١٢-٢٦أ).



(شكل ١٢ - ٢٧جـ)

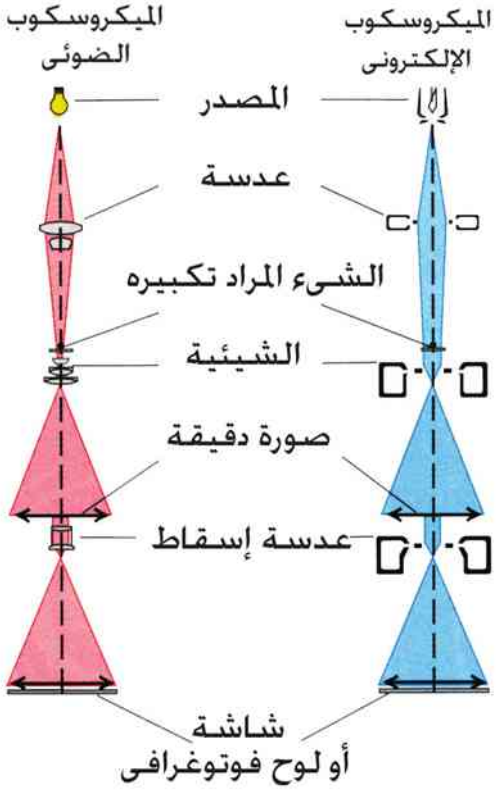
المدار كموجة موقوفه مثل وتر ثبت من طرفيه

المجهر (الميكروسكوب) الإلكترونى Electron Microscope:

المجهر الإلكترونى يعتبر من الأجهزة المعملية التى تعتمد على الطبيعة الموجية للإلكترونات، وهو يشبه الميكروسكوب الضوئى فى نواح عديدة.

الاختلاف المهم بينهما هو قدرة التحليل Resolving Power، لأن المجهر الإلكترونى له قدرة تحليلية كبيرة جداً، لأن الإلكترونات بإمكانها أن تحمل طاقة حركة عالية جدا ومن ثم أطوالاً موجية قصيرة جدا (معادلة 3-12)، وبالتالى يكون معامل تكبيره كبيرا جداً، بحيث يستطيع أن يرصد أجساماً صغيرة، لا يستطيع الضوء العادى أن يرصدها (شكل ١٢ - ٢٨).

يستخدم المجهر الضوئى الشعاع الضوئى، أما المجهر الإلكترونى فيستخدم الشعاع الإلكترونى، والشعاع الإلكترونى له



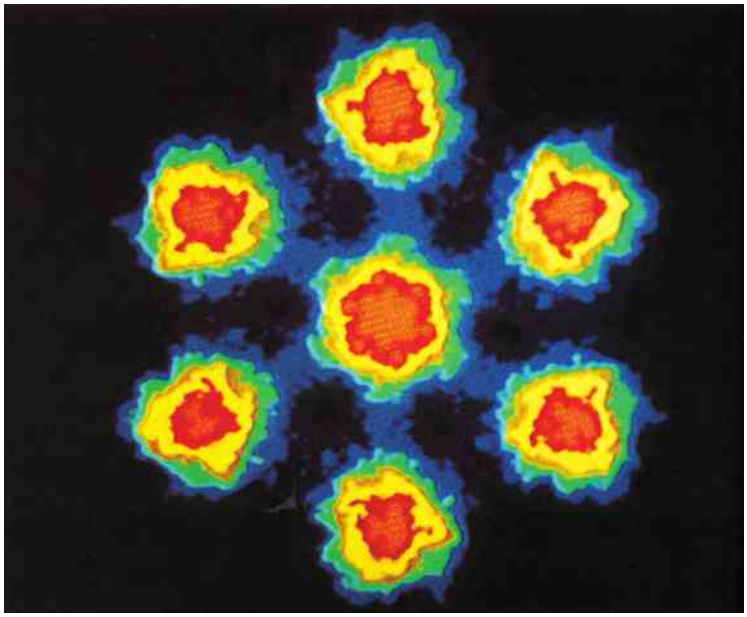
(شكل ١٢ - ٢٨)

الميكروسكوب الإلكترونى

طول موجى أقصر ألف مرة أو أكثر من الطول الموجى للشعاع الضوئى المرئى. ولذلك فإن المجهر الإلكترونى له قدرة تمييز التفاصيل الدقيقة. أما العدسات المستخدمة فهى عدسات مغناطيسية تركز شعاع الإلكترونات. وتتم دراستها من خلال البصريات الإلكترونية Electron Optics.

(شكل ١٢ - ٢٨ب)

رأس ذبابة كما ترى بالميكروسكوب الإلكترونى



(شكل ١٢ - ٢٨جـ)

ذارت اليورانيوم كما ترى بنوع خاص من الميكروسكوب الإلكترونى

(شكل ١٢ - ٢٨د)

فيروس الحصبة Rubella كما يظهر بالميكروسكوب الالكترونى
كنقط بيضاء على سطح الخلايا المصابة

ميكانيكا الكم Quantum Mechanics :

استدعى تفسير النتائج السابقة استنباط قوانين جديدة فى الميكانيكا ، وأطلق على هذا الفرع من العلم ميكانيكا الكم . وبنيت هذه الميكانيكا على فروض أساسية صاغها شرودنجر على النحو التالى:

١- لطاقة الإلكترون فى الذرة قيم ثابتة تسمى مستويات الطاقة Energy Levels، ولا تنبعث الطاقة من الذرة إلا إذا انتقلت من مستوى أعلى إلى مستوى أقل.

٢ -يصدر هذا الانبعاث على شكل فوتون طاقته hν تساوى الفرق بين مستويى الطاقة وهذه العملية تسمى عملية الاسترخاء Relaxation.

٣- امتصاص الطاقة بواسطة الذرة يتم إذا كانت طاقة الفوتون الساقط تساوى الفرق بين مستويى الطاقة. فى هذه الحالة تستثار الذرة بحيث يصعد الإلكترون من المستوى الأدنى إلى المستوى الأعلى، وهذه العملية تسمى عملية الاستثارة Excitation.

٤- إذا كانت طاقة الفوتون أكبر من طاقة التأين للذرة Ionization Energy فإن الإلكترون يتحرر من الذرة نهائيا تاركا الذرة الأم لتصبح أيوناً موجباً.

٥ - عملية الاستثارة وعملية الاسترخاء عمليتان متلازمتان، وفى حالة الاتزان الحرارى فإن الذرة تكون مستقرة نتيجة هذا التلازم والتوازن.

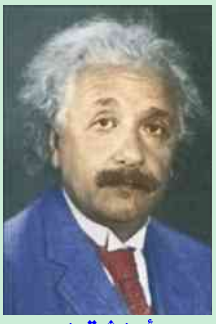
٦ - هناك دالة تصف حركة الإلكترون داخل الذرة، بحيث تعبر هذه الدالة عن احتمالية وجود الجسيم وقيمتها دائماً موجبة. ولكن تتغير قيمتها حسب المسافة. فمثلا احتمالية وجود إلكترون داخل الذرة قرب النواة صفر. كذلك فإن احتمالية وجود الكترون داخل الذرة بعيدا عن النواة تصل إلى الصفر، بسبب تأثير جذب النواة له، فهو يظل محبوسا داخل الذرة. وتفسير ذلك أنه إذا اقترب الإلكترون من النواة تزداد سرعته جدا فيبعد عن النواة. ووجد أن فروض ميكانيكا الكم تتفق نتائجها مع المشاهدات العملية فى كل ما يتصل بالجسيمات المحبوسة فى حيز ضيق Tightly Bound Particles. أما إذا كان الحيز كبير بالنسبة للجسيم، فيمكن استخدام الميكانيكا الكلاسيكية.

معلومة إثرائية

هل تستطيع أن تتعرف على دور كل من العلماء التالية صورهم فى الفيزياء الحديثة؟

بور

ديبرولى


أينشتين

بلانك

طومسون

كومتون

هيزنبرج

شرودنجر

تلخيص

- الفيزياء الكلاسيكية لا تستطيع أن تفسر كثيرا من الظواهر ، وخاصة تلك التى يتعامل فيها الضوء أو الإشعاع الكهرومغناطيسى مع الإلكترون أو الذرة.
- الضوء أو أى إشعاع كهرومغناطيسى يتألف من مجموعة هائلة من الفوتونات، طاقة كل منها $h\nu$، حيث h ثابت بلانك وν التردد.
- الدليل على وجود الفوتونات ظاهرة التأثير الكهروضوئى، حيث يتوقف التيار الكهروضوئى على شدة الإضاءة الساقطة، طالما كان التردد أعلى من تردد حرج. أما إذا كان التردد أقل من التردد الحرج فلا يسرى تيار. وتتوقف طاقة حركة الإلكترونات المحررة بفعل التأثير الكهروضوئى على التردد وليس على شدة الإضاءة.
- الفوتون له كتلة وله كمية حركة وله سرعة ثابتة هى سرعة الضوء، وله حيز هو الطول الموجى، وبالتالى يؤثر بقوة صغيرة للغاية على أى سطح يسقط عليه . ولكن تأثير هذه القوة على إلكترون حر كبير لصغر حجمه وكتلته.
- تأثير كومتون إثبات للصفات الجسيمية للفوتونات، حيث يكون للفوتون كتلة وسرعة وكمية حركة.
- الموجة تصف السلوك الجماعى للفوتونات.
- الطول الموجى للفوتون هو ثابت بلانك مقسوماً على كمية الحركة. ونفس العلاقة تنطبق على الجسيم الحر، حيث يصف الطول الموجى فى هذه الحالة الموجة المصاحبة للجسيم.
- المجهر الإلكترونى دليل على علاقة دى برولى للجسيمات، ويستخدم فى رؤية الأبعاد بالغة الصغر.
- ميكانيكا الكم مبنية على فروض. تتفق نتائجها مع المشاهدات العملية للظواهر التى يكون فيها الإلكترون محبوسا فى حيز ضيق. أما الميكانيكا الكلاسيكية فتنطبق عندما يكون الحيز كبيرا والإلكترون حر الحركة.

أسئلة وتمارين

أولا: التمارين

١ ـ أحسب طاقة فوتون طوله الموجى 700 nm ثم احسب كتلته وكمية حركته.

$(2.58x10^{-19}J \ , \ 0.29x10^{-35}kg \ , \ 0.86x10^{-27}kgm/s)$

٢ ـ أحسب كتلة الفوتونات فى حالة X ray وفى حالة γ ray إذا كان الطول الموجى لأشعة X 100nm وأشعة γ 0.05nm

$(m_X=2.01x10^{-35}kg \ , \ m_\gamma=40.2x10^{-33}kg)$

٣ ـ احسب الطول الموجى لكرة كتلتها 140kg تتحرك بسرعة 40m/s ، ثم احسب الطول الموجى لإلكترون إذا كان يتحرك بنفس السرعة.

$(\lambda=1.08x10^{-37}m \ , \ \lambda_e=1.7x10^{-5}m)$

٤ ـ محطة إذاعة تبث على موجة ترددها 92.4MHz احسب طاقة الفوتون الواحد المنبعث من هذه المحطة، ثم احسب عدد الفوتونات المنبعثة فى الثانية إذا كانت قدرة المحطة 100 kW

$(E=612.15x10^{-28}J \ , \ n=1.8x10^{29}\ s^{-1})$

٥- تعرض إلكترون لفرق جهد مقداره 20kV احسب سرعته عند التصادم مع المصعد من قانون بقاء الطاقة، حيث شحنة الإلكترون $1.6 \times 10^{-19}C$ وكتلته 9.1×10^{-31} kg ثم احسب الطول الموجى لهذا الإلكترون وكمية حركته.

$(v=0.838x10^{8}m/s \ , \ \lambda=0.868x10^{-11}m \ , \ P_L=7.625x10^{-23}kgm/s)$

٦- إذا كانت أقل مسافة يمكن رصدها بمجهر إلكترونى 1 nm احسب سرعة الإلكترون ومن ثم جهد المصعد.

$(Velocity=0.662x10^{6}m/s \ , \ V=1.25Volt)$

٧- احسب القوة التى يؤثر بها شعاع قدرته 100 kW على جسم كتلته 10 kg ماذا يحدث إذا كان الجسم إلكتروناً ؟ ولماذا ؟ $(F=0.67x10^{-3}N)$

ثانيا: أسئلة المقال

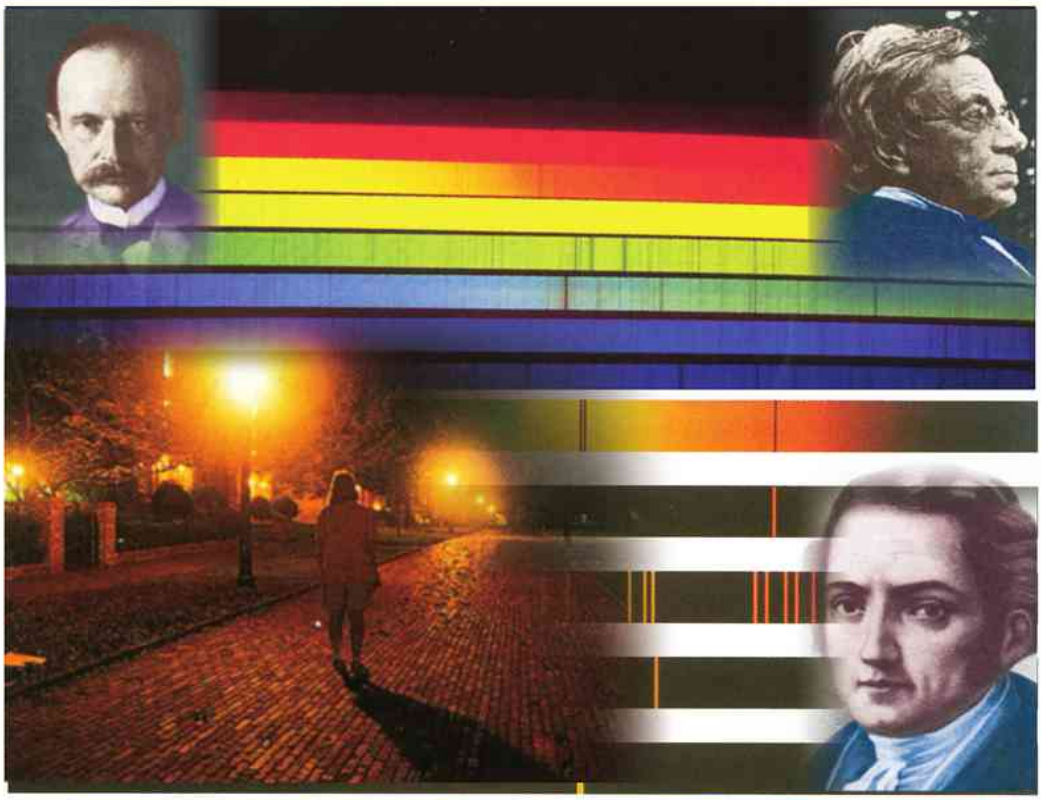
١- اشرح لماذا فشلت النظرية الموجية فى تفسير التأثير الكهروضوئى وكيف فسر أينشتين النتائج العملية لهذه الظاهرة.

٢- كيف تثبت الخاصية الجسيمية للضوء من إشعاع الجسم الأسود.

٣- اشرح ظاهرة كومتون وبين كيف أنها دليل على الخاصية الجسيمية للضوء.

مقدمة فى الفيزياء الحديثة

الوحدة الخامسة



الفصل الثالث عشر : الأطياف الذرية

الفصل الثالث عشر
الأطيـــاف الـذريـة

مقدمة :

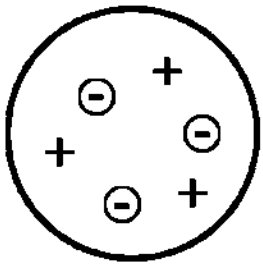
كلمة الذرة Atom تعود إلى اللغة الإغريقية وتعنى الوحدة التى لاتنقسم. ووضع العلماء تصورات مختلفة لتركيب الذرة من خلال التجارب العملية كما يلى:

أ- ذرة طومسون Thompson (١٨٩٨):

(١) بعد أن أجرى طومسون تجاربه التى أدت إلى اكتشاف الإلكترون، وإيجاد قيمة شحنته النوعية $\left(\frac{e}{m_e}\right)$ ، وضع نموذجا للذرة عبارة عن كرة مصمتة من مادة مشحونة بكهربية موجبة تنغمس فيها الإلكترونات السالبة.(شكل ١٣-١).

(٢) حيث أن الذرة متعادلة كهربيًا فإن :

الشحنة السالبة التى تحملها الإلكترونات = الشحنة الموجبة التى تحملها الذرة.



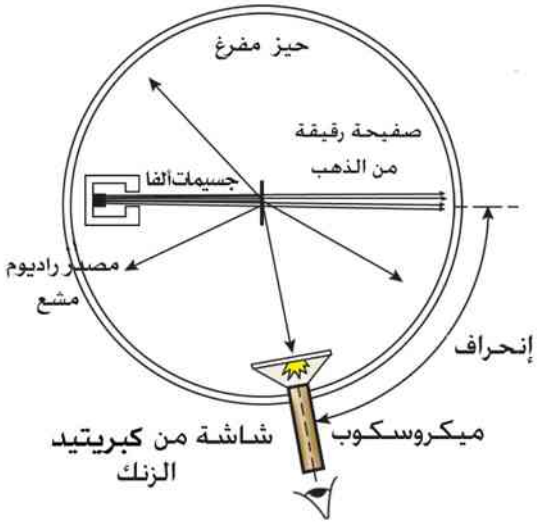
(شكل ١٣ - ١)
نموذج ذرة طومسون

رذرفورد

ب- ذرة رذرفورد Rutherford (١٩١١):

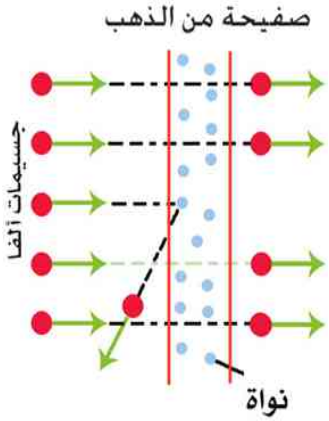
أجرى رذرفورد تجربته الشهيرة التى على أساس نتائجها وضع نموذجًا لتركيب الذرة، والذى بين فيه أن الذرة ليست مصمتة.

وفى هذه التجربة صوب رذرفود سيلاً من دقائق جسيمات الفا $\left({}^4He_2\right)$ نحو صفيحة رقيقة جدًا من الذهب سمكها حوالى 10^{-4}cm شكل (١٣-٢ أ، ب).



(شكل ١٣-٢) أ

رسم تخطيطى لجهاز رذرفورد



(شكل ١٣-٢) ب

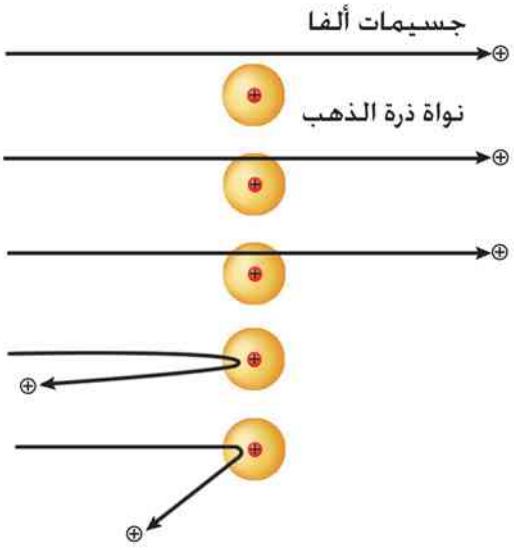
تجربة رذرفورد

ولاحظ أن:

١- معظم دقائق ألفا يمر خلال الصفيحة دون أن يعانى تغيرًا يُذكر فى مساره أى أن معظم الذرة فارغ.

٢- تمر نسبة ضئيلة منها منحرفة عن مسارها دليل اقترابها من جسيم كبير نسبيا مماثل لها فى الشحنة.

٣-ترتد نسبة ضئيلة منها إلى نفس جهة صدورها لتصادمها بجسيم كبير نسبيا مماثل لها فى الشحنة (شكل ١٣-٢جـ).



(شكل ١٣-٢) جـ

تفسير نتائج التجربة

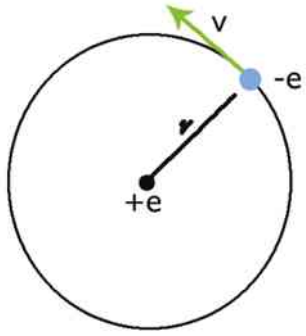
نموذج ذرة رذرفورد Rutherford's Model:

أ- تتكون الذرة من نواة موجبة تتركز فيها معظم كتلة الذرة.

ب- الذرة ديناميكية فى تكوينها، والإلكترونات تتحرك بسرعة كبيرة حول النواة؛ لأنها لو كانت ساكنة لانجذبت للنواة.

جـ- الذرة متعادلة كهربيا، أى أن: عدد الإلكترونات خارج النواة = عدد الشحنات الموجبة داخل النواة.

د- معظم حجم الذرة فراغ، أى أن: الحجم الذى تشغله النواة والإلكترونات ضئيل جدًا بالنسبة لحجم الذرة نفسها.



(شكل ١٣ - ٣)

تصور رذفورد عن الذرة

الصعوبات التى صادفت نموذج رذرفورد:

أولاً استقرار البناء الذرى

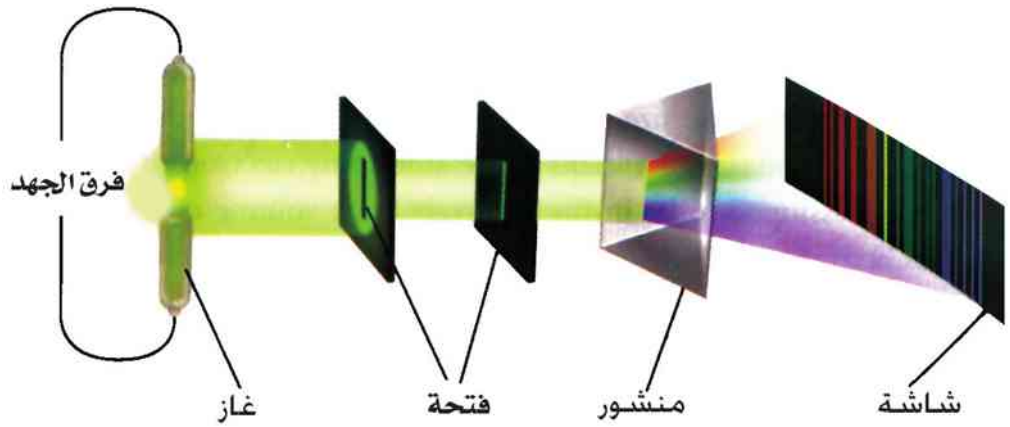
- عزى رذرفورد استقرار الذرة إلى أن قوة الجذب بين شحنة النواة الموجبة والشحنات السالبة على الإلكترونات، تعادلها قوة الطرد المركزى الناتجة عن حركة الإلكترونات حول النواة فى مدارات دائرية. وقد أثارت هذه النظرية مشكلة خطيرة، وذلك لأنها تعارضت مع نظرية ماكسويل - هرتز للاشعاع الكهرومغناطيسى، وتستلزم هذه النظرية أنه:

إذا تحرك جسيم مشحون بشحنة كهربية بعجلة، فإنه يفقد طاقته تدريجيا فى صورة إشعاعات كهرومغناطيسية. بتطبيق نظرية ماكسويل على تصور رذرفورد للذرة فإن الإلكترون المتحرك حول النواة فى مدار دائرى يكون تحت تأثير عجلة، وبالتالى يفترض أنه يصدر إشعاعا كهرومغناطيسيا، وبالتالى تقل طاقة حركته تدريجيا، فتتغلب قوة الجذب على قوة الطرد، فيصغر المدار تدريجيا، ويتخذ مسارًا حلزونيًا حتى يسقط على النواة، فتنهار الذرة، ولكن هذا لا يحدث فى الواقع.

ثانياً الأطوال الموجية المحددة لخطوط أطياف العناصر:

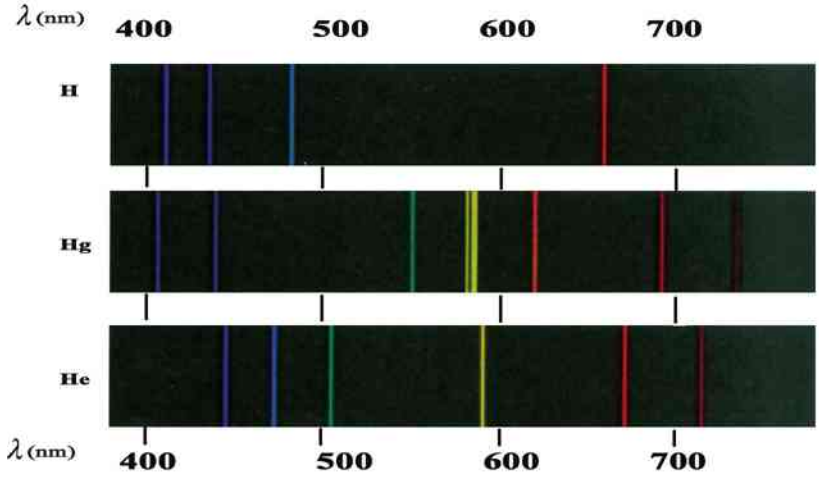
إذا كانت الذرة مصدراً للإشعاع - نتيجة لحركة الإلكترونات حول النواة- فإن الإشعاع الناتج يجب أن يحتوى على كل الترددات الممكنة، أى أن طيف ذرات العناصر يكون مستمرًا، وهذا يخالف المشاهدات العملية، إذ أن طيف العناصر طيف خطى Line Spectrum يظهر

على هيئة خطوط ذات أطوال موجية محددة تميز كل عنصر على حدة.



(شكل ١٣ - ٤ أ)

جهاز دراسة أطياف العناصر



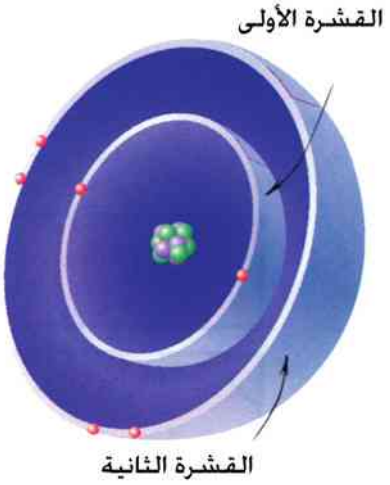
(شكل ١٣ - ٤ ب)

نموذج لأطياف بعض العناصر

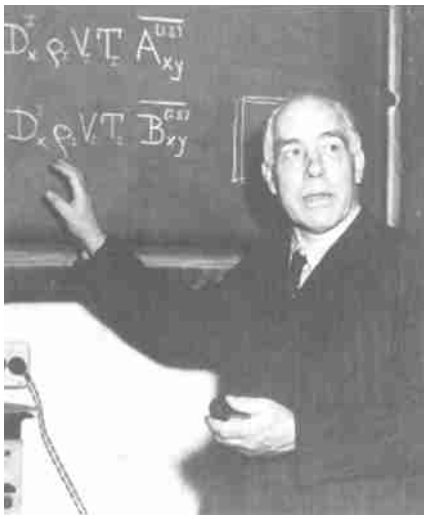
نموذج ذرة بور Bohr's Model (١٩١٣)

درس بور الصعوبات التى واجهت نموذج رذرفورد وتوصل إلى نموذج لذرة الهيدروجين مستخدمًا تصورات رذرفورد، وهى:

(١) توجد عند مركز الذرة نواة موجبة الشحنة.



(شكل ١٣ - ١٥)
نموذج بور الذرى



بور

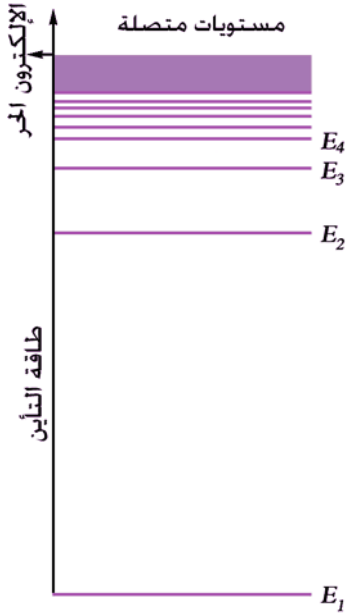
(٢) تتحرك الإلكترونات سالبة الشحنة حول النواة فى مدارات محددة تعرف باسم الأغلفة Shells لكل منها مستوى طاقة. ولا يصدر الإلكترون إشعاعا طالما كان يتحرك فى مستوى الطاقة الخاص به (شكل ١٣-٥).

(٣) الذرة متعادلة كهربيًا حيث أن شحنة الإلكترونات حول النواة يساوى عدد الشحنات الموجبة التى تحملها النواة.

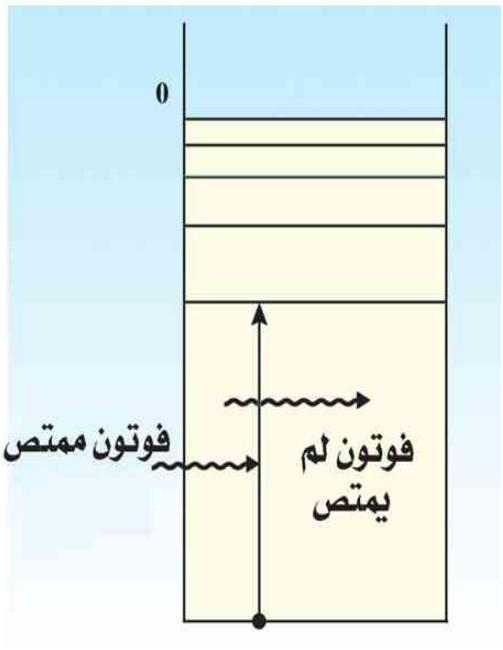
ثم أضاف إليها الفروض الثلاثة الهامة الاتية:

١- إذا انتقل إلكترون من مدار خارجى طاقته E_2 إلى مدار داخلى طاقته E_1 $(E_2>E_1)$ فإنه تنطلق نتيجة لذلك كمية من الإشعاع (أى فوتون) طاقته

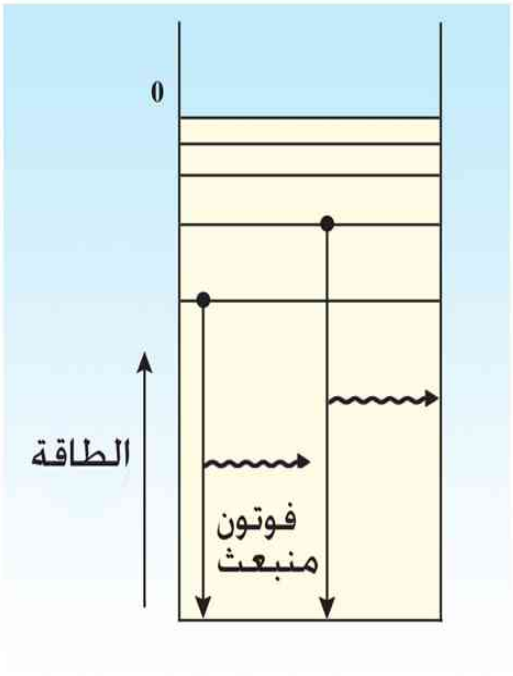
$$h\nu = E_2 - E_1$$



(شكل ١٣ - ٥ ب)
مستويات الطاقة بالذرة



(شكل ١٣ - ٥ جـ)
امتصاص فوتون



(شكل ١٣ - ٥ د)
فوتون منبعث

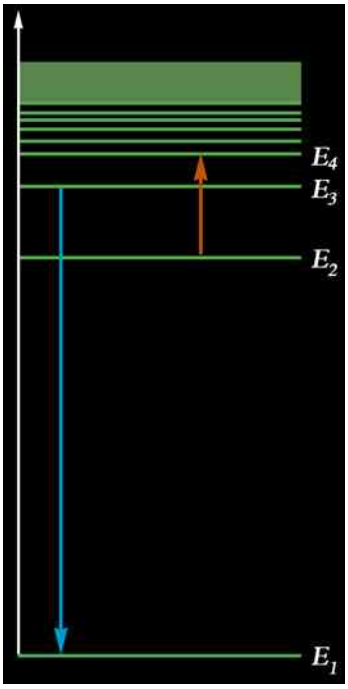
حيث V تردد الإشعاع المنبعث (شكل ١٣-٦).

٢- القوى الكهربية (قانون كولوم) و القوى الميكانيكية (قانون نيوتن) قابلة للتطبيق فى مجال الذرة.

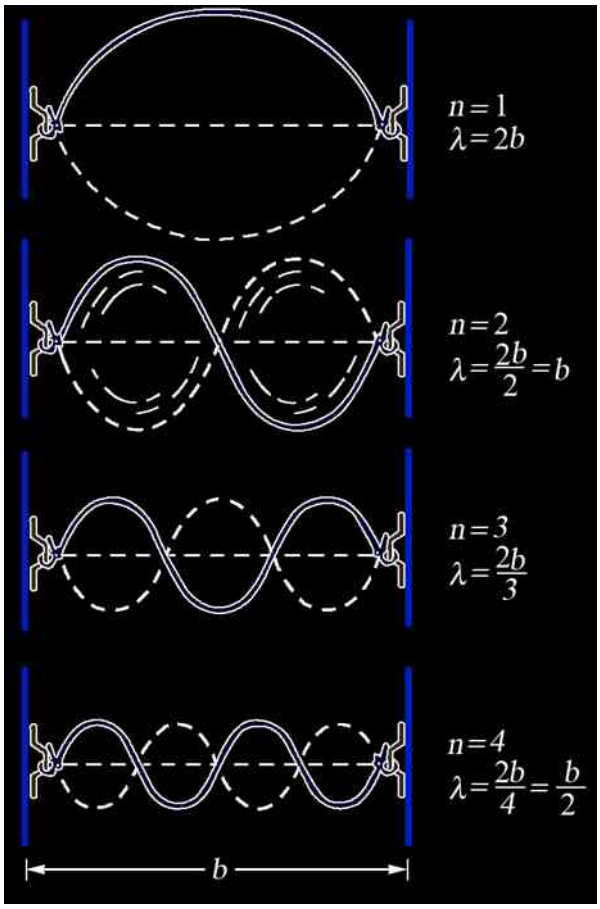
٣- يمكن حساب المدار تقديريا إذا اعتبرنا أن الموجة المصاحبة له تمثل موجة موقوفة (احسب نصف قطر المدار عند $n = 1,2,3$) (شكل ١٣-٧).

انبعاث الضوء من ذرة بور (الطيف الخطى لغاز الهيدروجين):

١- عند إثارة ذرات الهيدروجين (بأن تكتسب طاقة) فإنها لا تثار كلها بنفس الدرجة، ولذلك تنتقل الإلكترونات فى الذرات المختلفة من المستوى الأول K (n=1) إلى مستويات مختلفة أعلى منه (..... n = 2 or 3 or 4)



(شكل ١٣ - ٦)
انتقال الالكترونات بين مستويات الطاقة



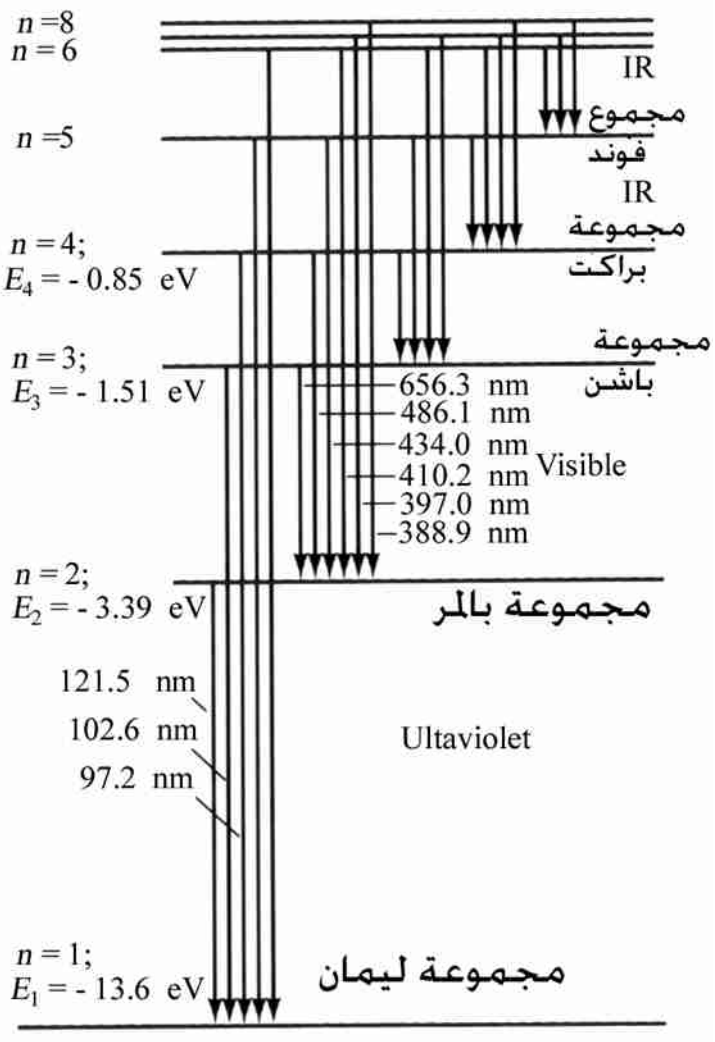
(شكل ١٣ - ٧)
الموجات الموقوفة

٢- لا تبقى الإلكترونات فى مستويات الطاقة العالية إلا لفترة قصيرة جدًا (تقدر بنحو 10^{-8} ثانية) ثم تهبط إلى مستويات أدنى.

٣- عندما يهبط الإلكترون من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أدنى فإنه يفقد فرق الطاقة على شكل إشعاع تردده (ν) وطاقته ($h\nu$)، حيث $h\nu = E_2 - E_1$ وطوله الموجى $\lambda = \frac{c}{\nu}$

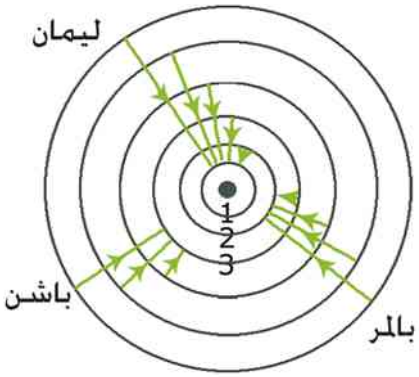
٤- ولذلك يتكون الطيف الخطى للهيدروجين من خمس مجموعات (أو متسلسلات Series) من الخطوط، كل خط منها يقابل طاقة محددة، وبالتالى ترددا محددا.

وتترتب المتسلسلات لطيف ذرة الهيدروجين (شكل ١٣-٨) كما يلى:



شكل (١٣ - ٨ أ)

صورة لمتسلسلات ذرة الهيدروجين



شكل (١٣ - ٨ ب)

نموذج الذرة لأطياف الهيدروجين

١- مجموعة ليمان Leyman حيث ينتقل الإلكترون إلى المستوى K (n = 1) من المستويات الأعلى. وتقع هذه المجموعة فى منطقة الأشعة فوق البنفسجية وهى ذات أطوال موجية قصيرة وترددات عالية.

٢- مجموعة بالمر Balmer حيث ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى L (n = 2) وتقع

هذه المجموعة فى منطقة الضوء المنظور.

٣- مجموعة باشن Paschen حيث ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى M (n = 3) وتقع هذه المجموعة فى منطقة الأشعة تحت الحمراء.

٤- مجموعة براكت Bracket حيث ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى N (n = 4)، وتقع هذه المجموعة فى منطقة الأشعة تحت الحمراء.

٥- مجموعة فوند Pfund حيث ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى O (n = 5)، وتقع هذه المجموعة فى أقصى المنطقة تحت الحمراء وهى أكبر الأطوال الموجية وأقلها تردداً.

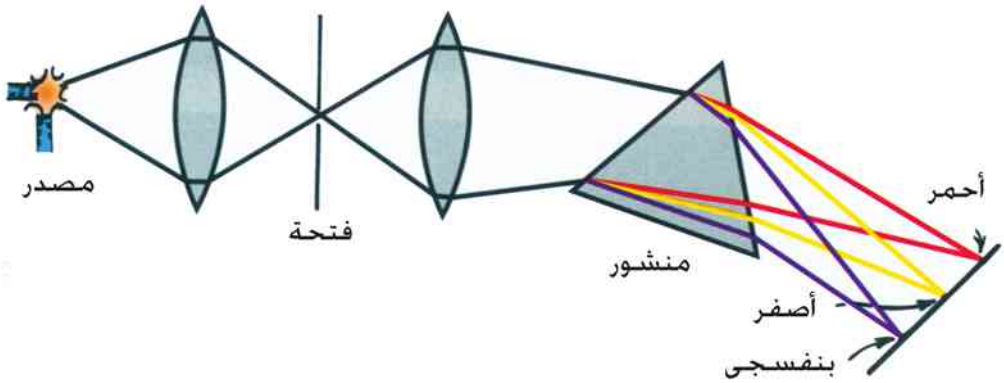
المطياف Spectrometer:

للحصول على طيف نقى يستخدم عادة المطياف (Spectrometer) (شكل ١٣-٩). ويتكون من ثلاثة أجزاء رئيسية، هى:

(شكل ١٣ - ٩ أ)

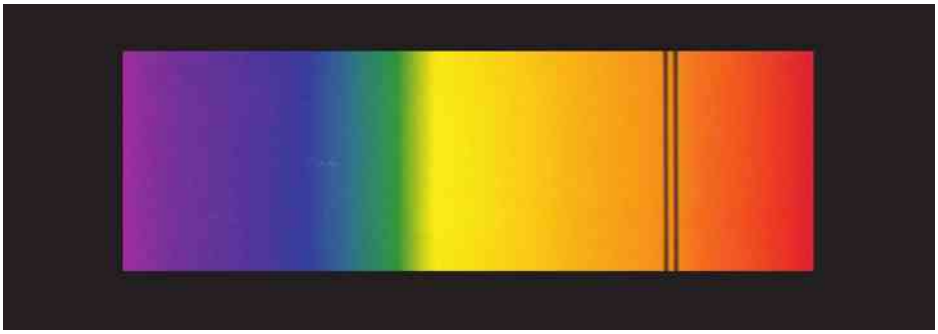
جهاز المطياف

١- مصدر الأشعة: وهوعبارة عن مصدر ضوئى أمامه فتحة مستطيلة ضيقة يمكن التحكم فى اتساعها بواسطة مسمار محوى. توجد هذه الفتحة فى بؤرة عدسة محدبة.



(شكل ١٣ - ٩ ب)

رسم تخطيطى للمطياف



(شكل ١٣ - ٩ جـ)

استخدام المطياف لتقدير درجة حرارة النجوم وما بها من غازات

٢- منضدة قابلة للدوران يوضع عليها منشور ثلاثى من الزجاج.

٣- تلسكوب ويتكون من عدستين محدبتين هما الشيئية والعينية.

فرانهوفر

لاستخدام المطياف فى الحصول على طيف نقى تضاء الفتحة المستطيلة الضيقة - كما فى الشكل السابق - بضوء أبيض متألق يسقط من الفتحة على المنشور فى وضع النهاية الصغرى للانحراف، ويوجه التلسكوب لاستقبال الأشعة المارة خلال المنشور، ويتضح أن أشعة كل لون تكون متوازية فيما بينها، وغير موازية لأشعة الألوان الأخرى. لذلك تعمل الشيئية على تجميع كل منها فى بؤرة خاصة فى المستوى البؤرى لهذه العدسة يمكن رؤيتها محددة بواسطة العينية، وبذلك يتم الحصول على طيف نقى.

بدراسة الأطياف للمواد المختلفة ، والتى تكون ذراتها فى حالة إثارة نلاحظ أن:

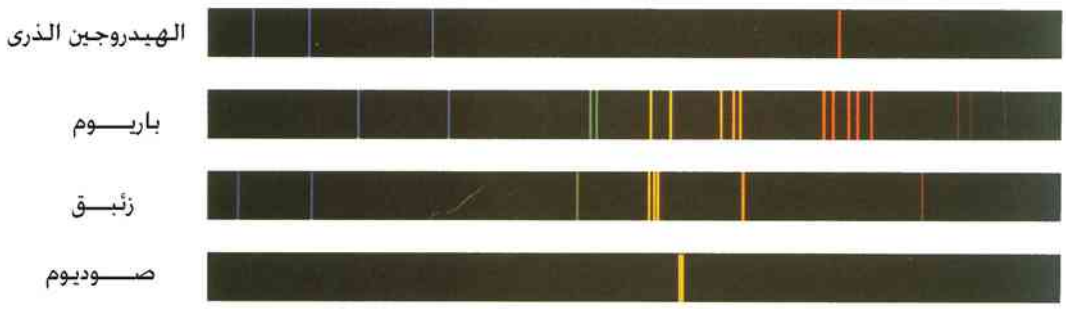
- الطيف الذى يتكون من جميع الأطوال الموجية أو يتضمن توزيعًا مستمرًا أو متصلاً للترددات يكّون صورة طيف شريطى فيما يعرف بالطيف المستمر.

- أما الطيف الذى يتضمن توزيعًا غير مستمر للترددات أو الأطوال الموجية يسمى الطيف الخطى.

- الطيف الناتج عن إنتقال الذرات المثارة من مستوى أعلى إلى مستوى أدنى يسمى طيف إنبعاث.

وجد عمليًا أنه إذا مر ضوء أبيض خلال غاز فإنه يلاحظ اختفاء بعض الأطوال الموجية فى الطيف المستمر للضوء الأبيض بعد تحليله. هذه الأطوال الموجية هى نفسها الأطوال الموجية فى أطياف الانبعاث الخطية لهذا الغاز (شكل ١٣-١٠).

يسمى هذا الطيف بطيف الامتصاص الخطى Absorption Spectra. وتمثل خطوط فرونهوفر Fraunhofer فى طيف الشمس أطياف امتصاص خطية للعناصر الموجودة فى جو الشمس. أثبت ذلك وجود عنصرى الهليوم و الهيدروجين على الشمس.



(شكل ١٣ - ١٠)

طيف الامتصاص لبعض العناصر

الأشعة السينية X-Rays

ما هى الأشعة السينية؟

هى أشعة كهرومغناطيسية غير مرئية، طولها الموجى قصير (ما بين $10^{-8}m$,$10^{-13}m$). وتقع بين الأطوال الموجية للأشعة فوق البنفسجية وأشعة جاما وبالتالى فهى عالية الطاقة.

أول من اكتشفها رونتجن Rontgen، وسماها هكذا لأنه لم يعرف ماهيتها، فأطلق عليها اسم الأشعة المجهولة.

خواصها:

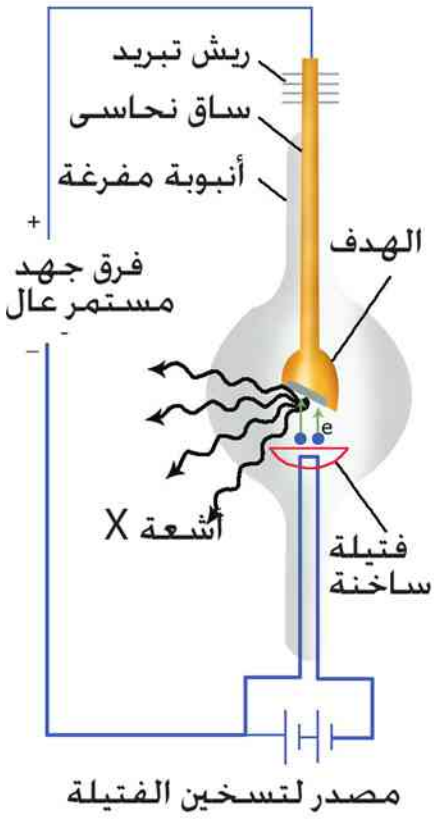
- ذات قدرة كبيرة على اختراق الأوساط.
- ذات قدرة كبيرة على تأيين الغازات.
- تحيد فى البلورات.

- تؤثرعلى الألواح الفوتوغرافية الحساسة.

طريقة الحصول على الأشعة السينية باستخدام أنبوبة كولدج Coolidge

عند تسخين الفتيلة تنطلق الإلكترونات نحو الهدف تحت تأثير المجال الكهربى، حيث تكتسب طاقة حركة كبيرة جدًا يتوقف مقدارها على فرق الجهد بين الفتيلة والهدف.

عندما تصطدم الإلكترونات بالهدف (من التنجستن) يتحول جزء من طاقتها أو كلها إلى أشعة إكس (شكل ١٣-١١).



شكل (١٣ - ١١)

أنبوب كولدج لتوليد الأشعة السينية

طيف الأشعة السينية:

بتحليل حزمة من الأشعة السينية الصادرة من هدف ما إلى مكوناتها من الأطوال الموجية المختلفة نحصل على طيف يتكون من مركبتين (شكل ١٣ - ١٢):

أ- طيف متصل Continuous Spectrum من جميع الأطوال الموجية (فى حدود معينة) لا تتغير بتغير مادة الهدف.

ب- طيف خطى Line Spectrum يقابل أطوالاً موجية محددة تميز العنصر المكون لمادة الهدف يسمى بالطيف المميز للأشعة السينية.

تفسير تولد الأشعة السينية:

أ- الطيف الخطى المميز:

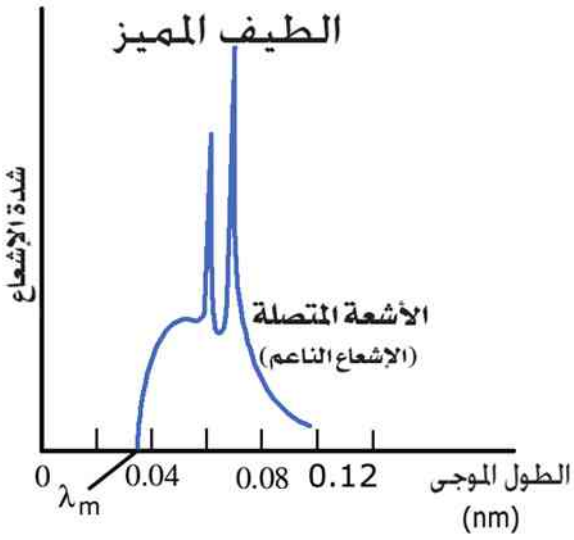
ينتج الطيف الخطى إذا اصطدم الإلكترون بأحد الإلكترونات القريبة من نواة فى

مادة الهدف. حيث يكتسب الأخير كمية كبيرة من الطاقة، فيقفز إلى مستوى طاقة أعلى أو يغادر الذرة، ويحل محله إلكترون اخر من أحد المستويات الخارجية ذات الطاقة الأعلى.

ويظهر الفرق بين طاقة المستويين على شكل إشعاع له طول موجى محدد.

ويلاحظ أن:

١- الطول الموجى للأشعة المميزة لا يتوقف على فرق الجهد المستخدم، ولكن يتوقف على نوع العنصر، فكلما زاد العدد الذرى للعنصر(مادة الهدف) نقص الطول الموجى للإشعاع المميز.



شكل (١٣ - ١٢)

الطيف المتصل والطيف الخطى

٢- عند فروق الجهود المنخفضة قد لا تظهر الأشعة المميزة.

٣- يمكن حساب الطول الموجى لأشعة إكس (السينية) المميزة أو الشديدة Hard من العلاقة:

$$h \times \frac{c}{\lambda} = (\Delta E) \qquad (13\text{-}1)$$

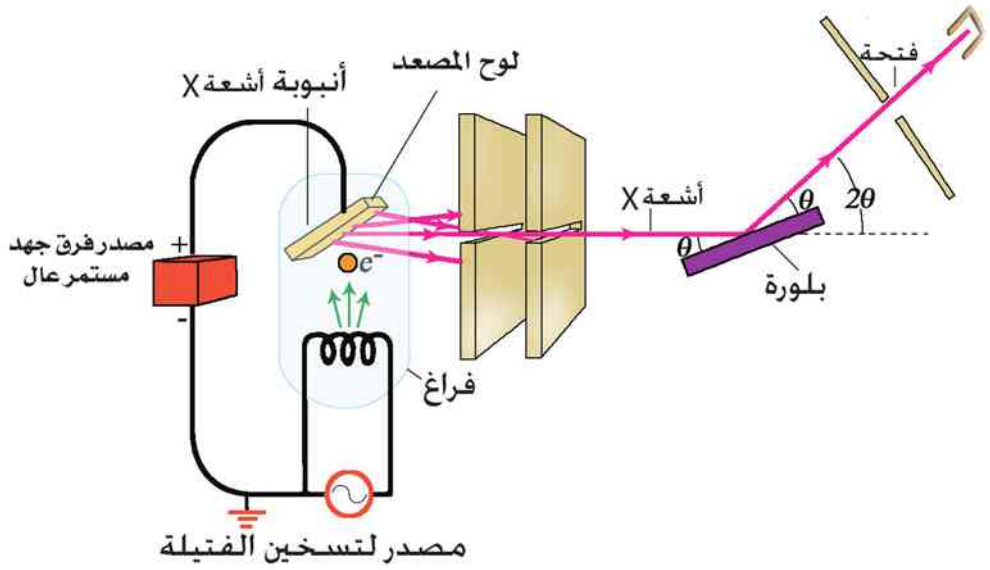
ب- الطيف المستمر أو المتصل:

ينتج نتيجة تناقص سرعة الإلكترونات بمرورها قرب إلكترونات ذرات مادة الهدف، فتقل طاقتها نتيجة التصادمات والتشتت Scattering، وتصدر اشعاعاً كهرومغناطيسياً بناء على نظرية ماكسويل- هرتز. لذلك يسمى هذا الإشعاع الاشعاع المستمر أو المتصل أو أشعة الكابح (الفرملة) Bremstrahlung أو الإشعاع اللين Soft.

الفرق بين طاقة الالكترونات الأصلية وطاقتها بعد مرورها فى مادة الهدف يظهر على شكل إشعاع كهرومغناطيسى يحتوى على جميع الأطوال الموجية الممكنة؛ لأن الإلكترونات تفقد طاقتها على دفعات وبدرجات متفاوتة.

هذا الإشعاع هو الإشعاع المستمر (الطيف المستمر للأشعة السينية).

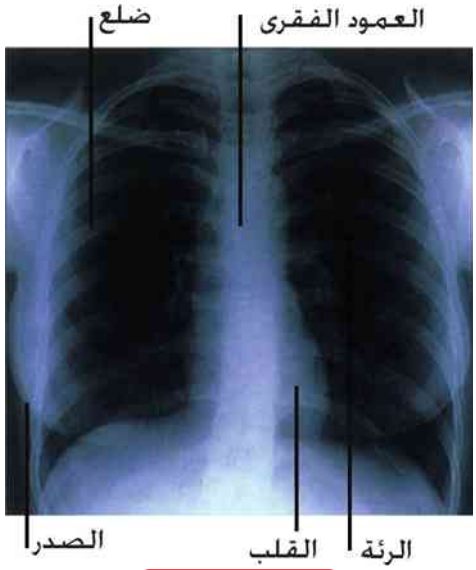
التطبيقات الهامة للأشعة السينية:



شكل (١٣ - ١٣)

استخدام أشعة أكس فى دراسة البلورات

١- من أهم خصائص الأشعة السينية قابليتها للحيود عند مرورها فى البلورات، لذلك تستخدم فى دراسة التركيب البلورى للمواد (شكل ١٣-١٣)، حيث يحدث تداخل بين الموجات التى تنفذ من بين الذرات، كما لو كانت فتحات عديدة، مثلما يحدث في التداخل في الشق المزدوج وهو يشبه بذلك ما يسمي محزوز الحيود Diffraction Grating حيث تتكون هدب مضيئة ومظلمة تبعا لفرق المسار بين الموجات المتداخلة.



شكل (١٣ - ١٤)

أشعة أكس للصدر

٢- لها قدرة كبيرة على النفاذ. ولذلك تستخدم فى الكشف عن العيوب التركيبية فى المواد المستخدمة فى الصناعات المعدنية.

٣- بالإضافة إلى خاصية النفاذ، فلها قدرة على تصوير العظام لتحديد الكسور أو الشروخ وفى بعض التشخيصات الطبية (شكل ١٣-١٤).

تلخيص

- فروض بور وتصوره لذرة الهيدروجين.
- عندما يقفز الالكترون من مستوي طاقة اعلى الى مستوى طاقة اقل فإنه يصدر اشعاعا تردده ν وطاقته $(h\nu)$ تساوى مقدار الفرق بين طاقتى المستويين اى ان:

$$h\nu = E_2 - E_1$$

حيث E_2 طاقة المستوى الاعلى، E_1 طاقة المستوى الاقل.

- يتكون الطيف الخطي لذرة الهيدروجين من خمس مجموعات او متسلسلات من الخطوط. كل خط منها يقابل طاقة محددة، وبالتالي تردداً وطولاً موجياً محددا . هى:

مجموعه ليمان	فى المنطقة فوق البنفسجية
مجموعة بالمر	فى منطقة الضوء المنظور
مجموعة باشن	فى المنطقة تحت الحمراء
مجموعة براكت	فى المنطقة تحت الحمراء
مجموعة فوند	فى اقصى المنطقة تحت الحمراء

- المطياف: هو جهاز يستخدم فى تحليل الضوء الى مكوناته (المرئية وغير المرئية).
- الاشعة السينية:

هى أشعة غير مرئية اطوالها الموجية قصيرة جدا، واول من اكتشفها رونتجن Rontgen عام ١٨٩٥. نظرا لعدم معرفته بطبيعتها اطلق عليها اسم اشعه اكس (الأشعة المجهولة).

- يستخدم حيود الاشعة السينية فى دراسة التركيب البللورى للجوامد، وفى كثير من المجالات الطبية والصناعية.

أسئلة وتمارين

أولا: أسئلة المقال

١- وضح تصور طومسون عن الذرة

٢- أدت تجارب رذرفورد إلى اثبات فشل نموذج طومسون عن الذرة.

ناقش هذه العبارة موضحاً هذه الأسباب ؟

٣- ما هى فروض نموذج رذرفورد عن الذرة ؟

٤- وضح وجه الاختلاف بين نموذج رذرفورد ونظرية ماكسويل

٥- كيف إستطاع بور أن يحل التناقض بين نموذج رذرفورد عن الذرة ونظرية ماكسويل ؟

٦- كيف استطاع بور أن يفسر طيف ذرة الهيدروجين ؟

٧- على أى أساس تم تقسيم طيف ذرة الهيدروجين إلى خمس مجموعات ؟

٨- علل: تعتبر مجموعة ليمان من مجموعات طيف ذرة الهيدروجين أكبرها طاقة بينما مجموعة فوند أقلها طاقة .

٩- إشرح كيف يستخدم المطياف فى الحصول على طيف نقى

١٠- وضح برسم كامل البيانات كيفية توليد أشعة X باستخدام أنبوبة كولدج

١١- قارن بين الطيف المميز للاشعه السينية والطيف المتصل لها.

١٢- اشرح كيف يحدث كل من الطيف الخطى المميز والطيف المتصل للأشعة السينية ثم قارن بينهما.

١٣- أذكر بعض التطبيقات الخاصة بالأشعة السينية.

ثانيا: عرف كلا من

١- الطيف الخطى ٢- الطيف المستمر

٣- طيف الإمتصاص ٤- طيف الإنبعاث .

مقدمة فى الفيزياء الحديثة

الوحدة الخامسة

الفصل الرابع عشر : الليـــزر

الفصل الرابع عشر
الليزر Laser

مقدمة :

قلما ترك اكتشاف علمى من أثر على مجالات وتطبيقات على أفرع العلم مثلما تركه اكتشاف أشعة الليزر . فقد شملت تطبيقاته علم البصريات و علم الفيزياء عامة، وسائر أفرع العلوم الأساسية: الكيمياء الچيولوچيا والبيولوچيا، وأفرع العلوم التطبيقية كالطب والهندسة، وبالأخص الاتصالات.

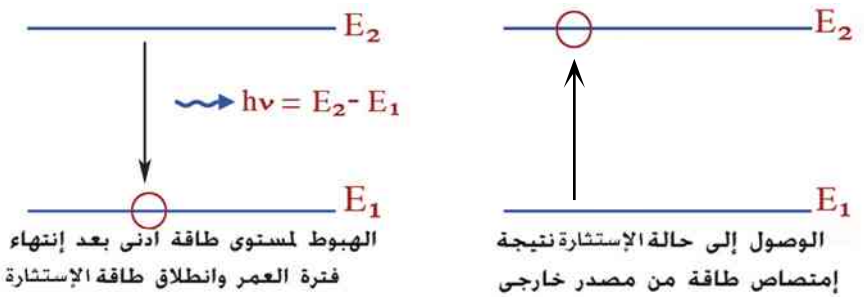
كلمة ليزر كلمة جديدة على اللغة العربية، وهى الحروف الأولى من كلمات باللغة الانجليزية تعنى تضخيم (أو تكبير) شدة الضوء بواسطة الانبعاث المستحث .
Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

فى عام ١٩٦٠ توصل العالم الأمريكى ميمان Maiman من صناعة أول ليزر بواسطة بللورة من الياقوت Ruby المطعم بالكروم. بعده بشهور أمكن تركيب الليزر الغازى مثل ليزر He-Ne، ثم توالى تركيب الأنواع المختلفة من الليزر.

الانبعاث التلقائى Spontaneous Emission والانبعاث المستحث Stimulated Emission

عرفنا مما سبق أن للذرة مستويات طاقة - أدناها يسمى المستوى الأرضى Ground State، وهو الذى تتواجد فيه الذرة فى حالتها العادية. وإذا رمزنا لطاقةالمستوى الأرضى بالرمز E_1 ورمزنا لطاقة المستويات التى تليه بالرموز E_2, E_3, E_4 ، فإن هذه المستويات تسمى مستويات اثارة الذرة Excited States واذا تواجدت الذرة فى أحد هذه المستويات تكون ذرة مثارة Excited Atom. إذا قذفنا ذرة فى حالتها العادية بفوتون طاقته $(E_2 - E_1)$، فإن الذرة تمتص هذا القدر من الطاقة، وتنتقل من المستوى الأرضى إلى مستوى الإثارة الأول الذى تبلغ طاقته E_2. تسمى هذه العملية إثارة الذرة إلى المستوى E_2. ولكن سرعان ما تتخلص الذرة بعد فترة وجيزة (حوالى 10^{-8}s) ـ تسمى فترة العمر Lifetime ـ من طاقة الإثارة بإشعاعها على شكل فوتون، وتعود إلى حالتها العادية (شكل ١٤-١).

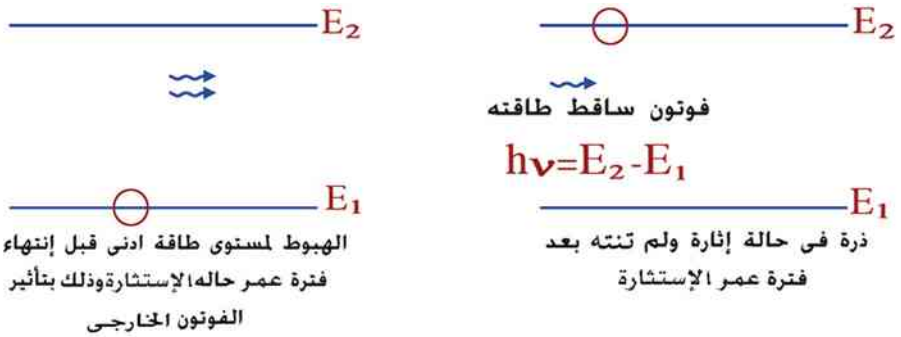
ويسمى هذا الإشعاع التلقائى Spontaneous Emission (وهو الانبعاث السائد فى مصادر الضوء العادية). ويكون للفوتون المنبعث نفس تردد الفوتون الذى سبب الإثارة ، أما الاتجاه والطور فهما عشوائيان (شكل ١٤-١).



(شكل ١٤ - ١)

الانبعاث التلقائى

وفى عام ١٩١٧ بين اينشتين Einstein أنه الى جانب الإشعاع التلقائى هناك اشعاع آخر من الذرة، يسمى الاشعاع المستحث Stimulated Emission (وهو الانبعاث السائد فى مصادر الليزر). إذا سقط فوتون طاقته $(E_2 - E_1)$ على ذرة مثارة بالفعل ـ وموجودة فى مستوى الاثارة E_2 قبل انتهاء فترة العمر، ـ فإن هذا الفوتون يدفع الذرة إلى أن تشع طاقة إثارتها على شكل فوتون آخر له نفس تردد واتجاه وطور الفوتون الساقط، وتعود



(شكل ١٤ - ٢)

الانبعاث المستحث

الذرة إلى المستوى الأرضى (شكل ١٤-٢).

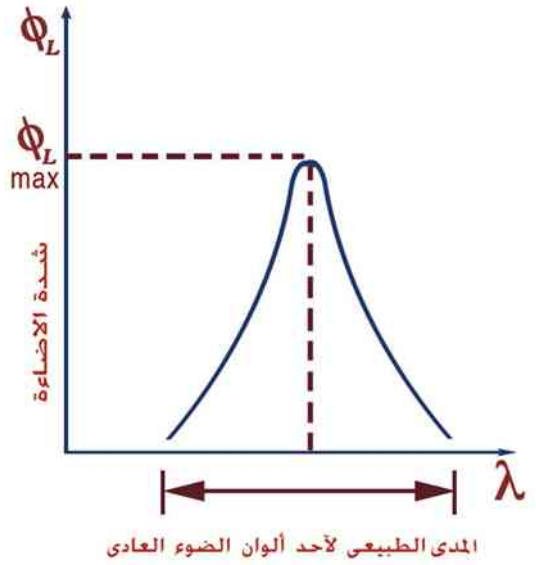
نرى من ذلك انه فى حالة الاشعاع المستحث، يوجد فوتونان. الأصلى والمستحث لهما نفس التردد، ويتحركان معا بنفس الطور وفى نفس الاتجاه.

انطلاق الفوتونات من ذرات المادة بهذه الكيفية يجعلها تتجمع فى حزم متوازية وبصورة مترابطة لمسافات طويلة جدا، وتكون ذات تركيز عال (أى عالية الشدة) على طول مسار الحركة، ولا تعانى من التشتت أو الانتشار الذى تعانيه حزم الفوتونات المنبعثة بطريقة الانبعاث التلقائى.

تبين المقارنة التالية خصائص الانبعاث التلقائى والانبعاث المستحث:

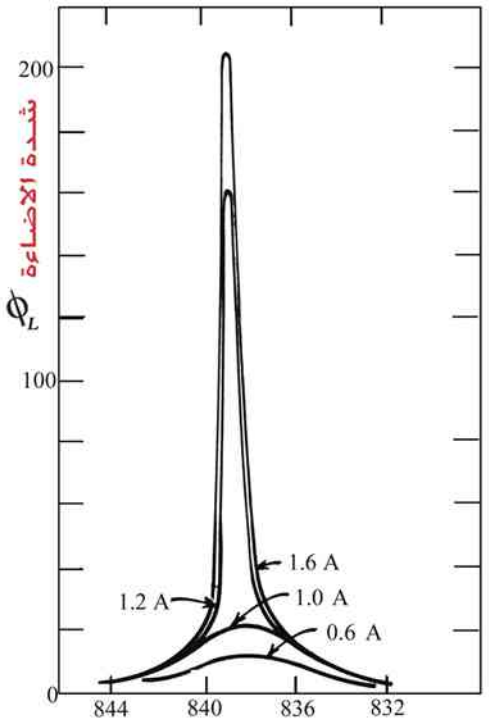
	الانبعاث التلقائى	الانبعاث المستحث
١	يحدث عندما تنتقل الذرات المثارة من مستوى الإثارة إلى مستوى آخر أقل منه فى الطاقة، وتشع الفرق بين طاقتى المستويين فى شكل فوتونات تلقائياً، بدون أى مؤثر خارجى، وذلك بعد انتهاء زمن بقائها Lifetime فى الحالة المثارة.	يحدث عندما تنتقل الذرات المثارة من مستوى الإثارة إلى مستوى آخر أقل منه فى الطاقة، وتشع الفرق بين المستويين على شكل فوتونات، وذلك بتأثير تفاعلها مع فوتونات أخرى خارجية لها نفس طاقة الفوتونات المنطلقة، وذلك قبل انتهاء الفترة الزمنية لبقائها فى حالة الإثارة.
٢	الفوتونات المنبعثة تغطى مدى طيفيا كبيرا من الأطوال الموجية للطيف الكهرومغناطيسى.	للفوتونات المنبعثة جميعا طول موجى واحد فقط Monochromatic
٣	تتحرك الفوتونات بعد انبعاثها بصورة عشوائية تماماً.	تتحرك الفوتونات بعد انطلاقها بنفس الطور Coherent وفى اتجاه واحد، على شكل أشعة متوازية تماما Collimated.
٤	يقل تركيز الفوتونات أثناء الانتشارSpreading، بحيث تتناسب شدة الإشعاع عكسيا مع مربع المسافة التى تتحركها (هذا ما يعرف فى فيزياء البصريات بقانون التربيع العكسى).	تظل شدة الشعاع ثابتة أثناء انتشارها ولمسافات طويلة. ولذا فهى لا تخضع لقانون التربيع العكسى، حتى أنه أمكن إرسال شعاع ليزر إلى سطح القمر واستقباله مرة أخرى على الأرض دون تشتت Scattering أو انتشار Spreading على الرغم من طول المسافة المقطوعة.
٥	يعتبر الانبعاث السائد فى مصادر الضوء العادية.	يعتبر الانبعاث السائد فى مصادر الليزر.

خصائص أشعة الليزر



شكل (١٤-٣أ)

المدى الطيفى لاحد ألوان الضوء العادى



شكل (١٤-٣ ب)

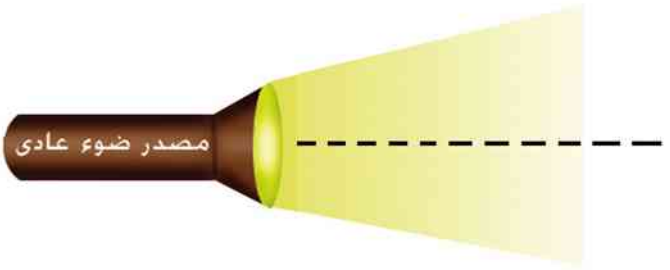
المدى الطيفى لضوء ليزر

١- النقاء الطيفى Monochromaticity:

يحتوى كل خط من خطوط الطيف الضوئى فى مصادر الضوء العادية على مدى كبير من الأطوال الموجية (وإليها يرجع بسبب التعدد فى درجات اللون الواحد عند رؤيته بالعين المجردة) و تتفاوت فى شدتها من طول موجى لآخر كما هو مبين بشكل (١٤ -٣أ).

أما مصادر الليزر فهى تنتج خطًا طيفيًا واحدًا فقط، له مدى ضئيل جدا من الأطوال الموجية. وتتركز الشدة عند هذا الطول الموجى المحدد (شكل ١٤-٣ب)، أى أنه يعتبر ضوء أحادى الطول الموجى Monochromatic Light.

٢- توازى الحزمة الضوئية Collimation:



أشعة الضوء العادى تتشتت أثناء انتشارها

أشعة الضوء الليزر تنتشر
فى حزمة متوازية لمسافات طويلة

شكل (١٤-١٤)

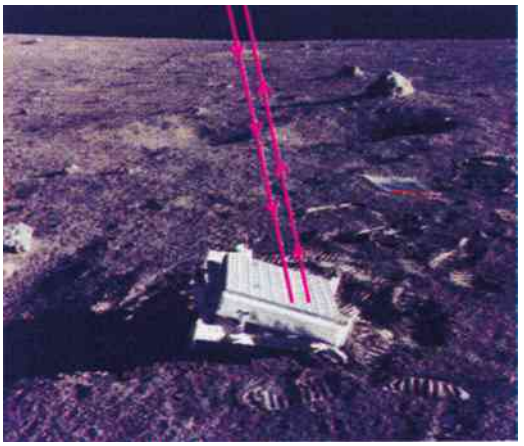
تشتت الضوء العادى وعدم تشتت ضوء الليزر

شكل (١٤-٤ب)

إطلاق شعاع ليزر
من الأرض إلى عاكس على سطح القمر
على بعد 380000km من الأرض

شكل (١٤-٤جـ)

قياس المسافات الفلكية بشعاع ليزر



شكل (١٤-٤د)

تقدير المسافة بين الأرض و القمر بإستخدام أنعكاس شعاع ليزر على عاكس مثبت على سطح القمر

فى مصادر الضوء العادية يزداد قطر الحزمة الضوئية المنبعثة من المصدر أثناء انتشارها نتيجة التشتت (Scattering) (شكل ١٤ -١٤أ). أما فى شعاع الليزر فإن قطر الحزمة يظل ثابتا أثناء الانتشار لمسافات طويلة، حيث تتحرك الحزم الضوئية بصورة متوازية ولا تعانى من تشتت يذكر ، فتتمكن بذلك من نقل الطاقة الضوئية لمسافات طويلة دون فقد ملحوظ.

٣- الترابط Coherence

تنطلق فوتونات الضوء العادى من مصادرها بصورة عشوائية غير مترابطة Incoherent، حيث تنطلق فى لحظات زمنية مختلفة، وتنتشر باختلاف كبير وغير ثابت فى فرق الطور.

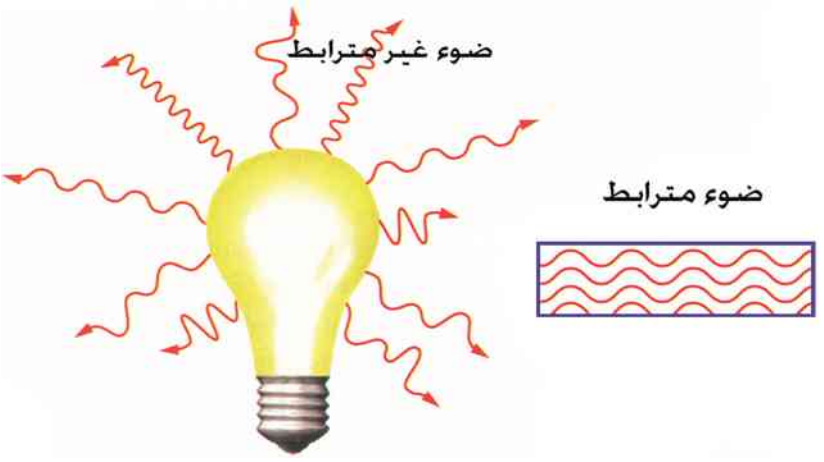
أما فى مصادر الليزر، تنطلق الفوتونات بصورة مترابطة زمانيا ومكانيا، حيث تنطلق من المصدر فى نفس اللحظة، وتحتفظ فيما بينها بفرق طور ثابت أثناء الانتشار لمسافات طويلة. وهذا يجعلها أكثر شدة وأكثر تركيزا (شكل ١٤-٥).

٤- الشدة Intensity

تخضع الأشعة الضوئية المنبعثة من المصادر العادية لقانون التربيع العكسى، حيث تقل

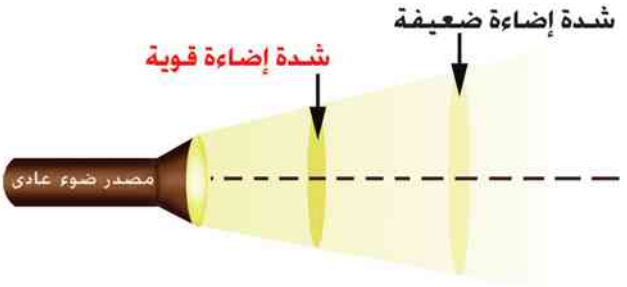
الشدة الضوئية الساقطة على وحدة المساحات من السطح كلما بعد هذا السطح عن مصدر الضوء نتيجة عدم ترابط موجاته طبقاً لقانون التربيع العكسى (شكل ١٤ -١٤أ) .

أما أشعة الليزر الساقطة على السطح فهى تحتفظ بشدة ثابتة لوحدة المساحات ولا تخضع لقانون التربيع العكسى.



شكل (١٤-٥)

الترابط



تقل شدة إضاءة الضوء العادى كلما بعد عن مصدره طبقاً لقانون التربيع العكسى

يحتفظ ضوء الليزر بشدة ثابتة أثناء انتشاره

شكل (١٤-٦)

انخفاض شدة الضوء العادى مع انتشاره ولكنها ثابتة لضوء الليزر

نظرية عمل الليزر

يعتمد الفعل الليزرى Laser Action على الوصول بذرات أو جزيئات الوسط الفعال لإنتاج الليزر إلى حالة الإسكان المعكوس Population Inversion، وهى الحالة التى يكون فيها عدد الذرات فى مستويات الإثارة العليا أكبر من عددها فى المستويات الأدنى. حتى تتهيأ الفرصة لفوتونات الانبعاث المستحث أن يتضخم عددها عند مرورها ذهابا وإيابا خلال الوسط الفعال Active Medium، نتيجة الانعكاسات المتتالية بين سطحى مرآتين. فيتم حث ذرات أخرى واقعة على مسار الشعاع، وتتولد فوتونات جديدة. وهكذا يتضخم الشعاع، وتحدث عملية تكبير الإشعاع بالانبعاث المستحث Stimulated Emission (شكل ١٤ - ٧).

العناصر الأساسية لليزر

تتضمن أجهزة توليد الليزر على اختلاف احجامها وأشكالها وطاقاتها ثلاثة عناصر رئيسة مشتركة هى:

١- الوسط الفعال Active Medium: وهو المادة الفعالة لإنتاج الليزر، وهو إما أن يكون بلورات صلبة Crystalline Solids، مثل الياقوت الصناعى Ruby أو مواد صلبة شبه موصلة Semiconductors، مثل بلورات السيليكون (الفصل الخامس عشر). أو صبغات سائلة Liquid Dye، مثل الصبغات العضوية المذابة فى الماء، أو ذرات غازية مثل خليط غازى الهليوم والنيون، أو غازات متأينة مثل غاز الأرجون المتأين، أوجزيئات غازية مثل غاز ثانى أكسيد الكربون.

٢ - مصادر الطاقة Sources of Energy: هى المسئولة عن اكساب ذرات أو أيونات الوسط الفعال الطاقة اللازمة لإثارتها لتوليد الليزر وهى كما يلى:

(أ) الإثارة بالطاقة الكهربية: وتتمثل فى استعمال الطاقة الكهربية المباشرة بأسلوبين: أحدهما استخدام مصادر الترددات الراديوية Radio Frequency Waves (RF)، الثانى استخدام التفريغ الكهربى Electric Discharge بفرق جهد عال مستمر، يستخدم النوع الثانى غالبا فى أجهزة الليزر الغازية، مثل ليزر غاز ثانى أكسيد الكربون وليزر الهليوم والنيون، وليزر الأرجون.

(ب) الإثارة بالطاقة الضوئية: وتعرف هذه الطريقة باسم الضخ الضوئى Optical Pumping. ويمكن أن تتم بوسيلتين مختلفتين هما:

- المصابيح الوهاجة Flash Lamps ذات القدرة العالية (كما فى ليزر الياقوت).
- شعاع ليزر كمصدر للطاقة (وتستخدم هذه الطريقة فى ليزر الصبغات السائلة).

(جـ) الإثارة بطاقة حرارية، حيث يستخدم التأثير الحرارى الناتج عن الضغط الحركى للغازات فى حث وإثارة المواد التى تبعث أشعة الليزر.

(د) الإثارة بالطاقة الكيميائية، حيث تعطى التفاعلات الكيميائية بين المواد طاقة تؤدى إلى حث جزيئاتها على إنتاج شعاع الليزر. مثال ذلك التفاعلات بين مزيج من الهيدروجين والفلور، أو التفاعلات بين خليط من فلوريد الديوتيريوم وثانى أكسيد الكربون.

٣ - التجويف الرنينى Resonant Cavity:

وهو الوعاء الحاوى والمنشط لعملية التكبير. وهو عادة ما يكون:

(أ) تجويف رنينى خارجى External Resonant Cavity، ويكون على شكل مرآتين متوازيتين يحصران بينهما المادة الفعالة بحيث تكون الانعكاسات المتعددة بينهما هى الأساس فى عملية التكبير الضوئى Amplification كما فى الليزرات الغازية شكل (١٤-٧ أ) .

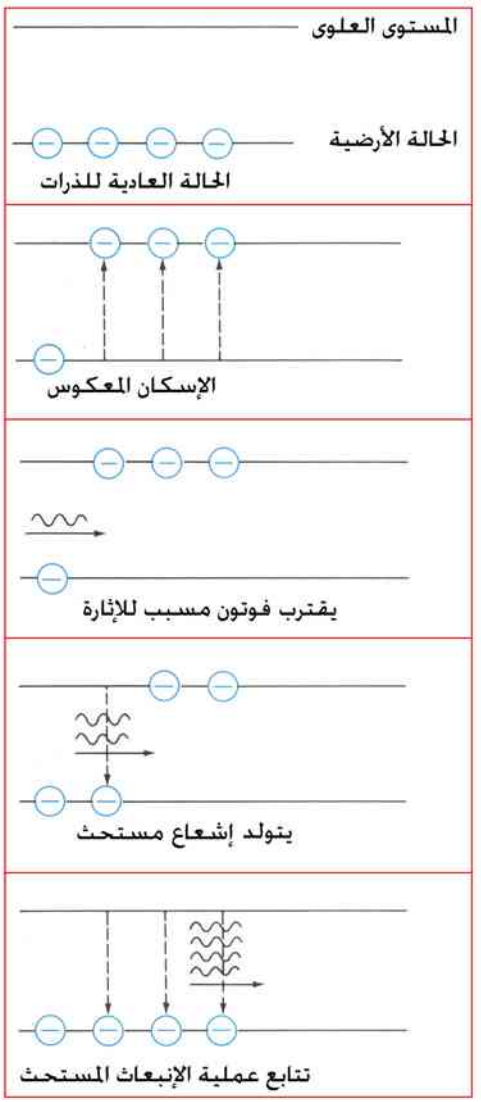
شكل (١٤-٧ أ)
تجويف رنينى خارجى

(ب) تجويف رنينى داخلى Internal Resonant Cavity حيث يتم طلاء نهايتى المادة الفعالة لتعملا كمرآتين يحصران بينهما المادة الفعالة، كما فى الليزرات الصلبة بصفة عامة مثل ليزر الياقوت (شكل ١٤-٧ب). وتكون إحدى المرآتين شبه منفذة Semitransparent لتسمح بمرور بعض أشعة الليزر المتولدة (شكل ١٤-٨) .

شكل (١٤-٧ ب)
تجويف رنينى داخلى

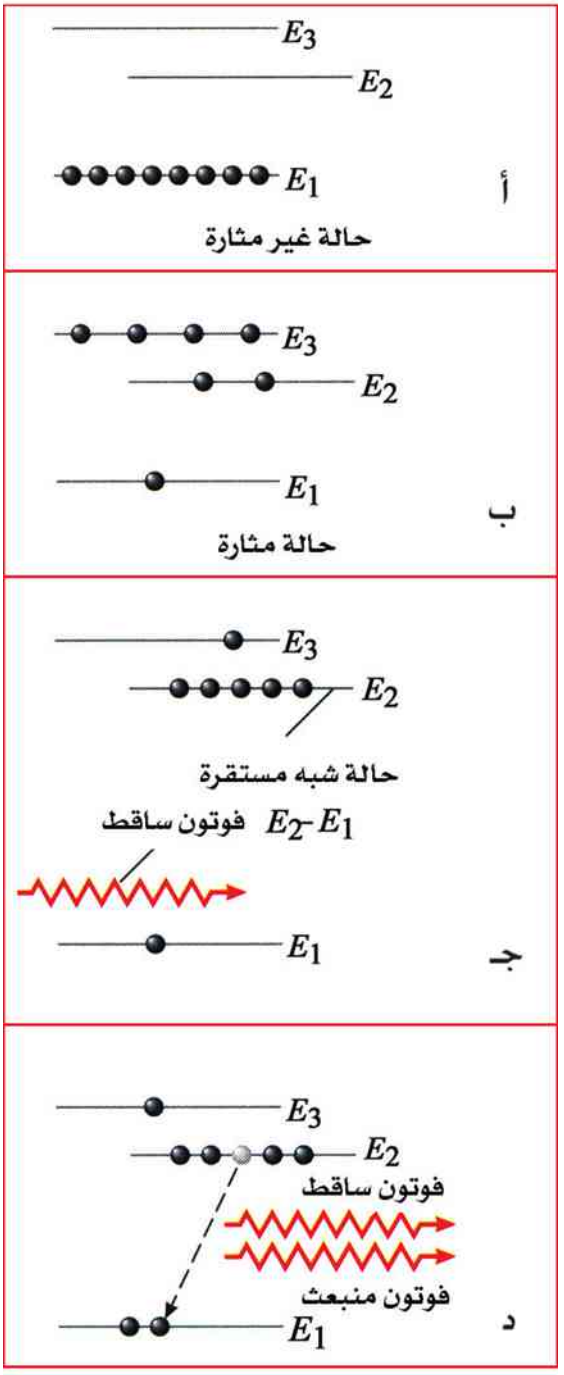
شكل (١٤- ١٨)

انبعاث مستحدث بفوتون خارجى



شكل (١٤- ١٨ب)

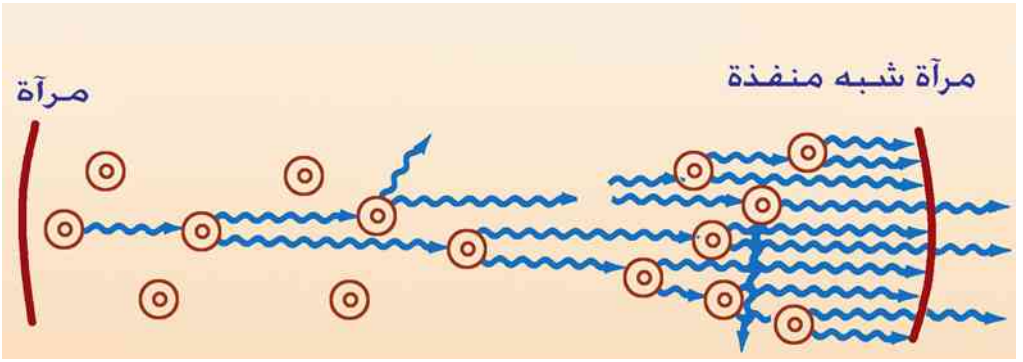
تتابع خطوات الفعل الليزر



شكل (١٤- ٨جـ)

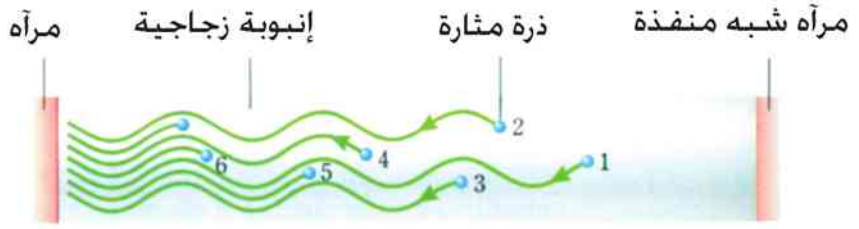
الإسكان المعكوس عن طريق مستوى ثالث

شبه مستقر



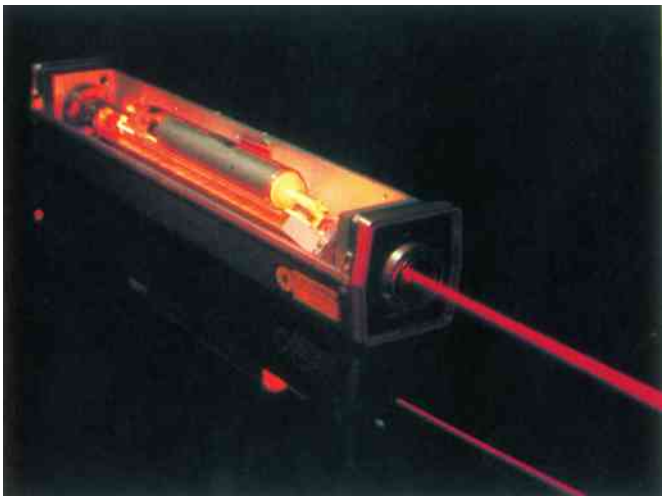
شكل (١٤- ٨د)

الأنعكاس التبادلى بين المرآتين



شكل (١٤- ٨هـ)

تضخيم الإشعاع بالأنعكاسات المتتالية



شكل (١٤- ٨و)

الإشعاع الخارج من المرآة شبه المنفذة

ليزر الهليوم ـ نيون (Helium - Neon Laser)

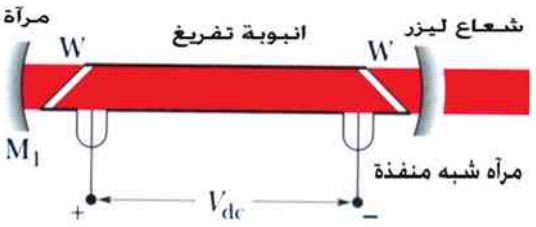
لقد تم اختيار هذين العنصرين نظرا لتقارب قيم طاقة مستويات الإثارة شبه المستقرة فى كل منهما.

(أ) يتركب جهاز ليزر الهليوم -نيون مما يلى:

١- أنبوبة من زجاج الكوارتز بها خليط من غاز الهليوم وغاز النيون بنسبة 1:10 تحت ضغط منخفض حوالى 0.6 mmHg (شكل ١٤-٩).

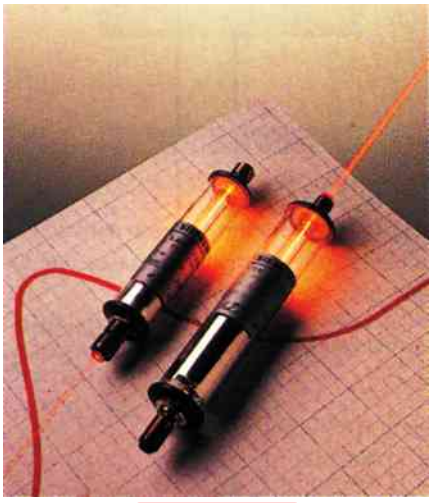
٢- يوجد عند نهايتى الإنبوبة مرآتان مستويتان متوازيتان ومتعامدتان على محور الأنبوبة. معامل إنعكاس إحداهما 99.5٪ و الأخرى شبه منفذة ومعامل انعكاسها 98٪.

٣- مجال كهربى عال التردد يغذى الأنبوبة من الخارج لاثارة ذرات الهيليوم والنيون، أو فرق جهد كهربى عال مستمر، يسلط على الغاز داخل الأنبوبة لإحداث تفريغ كهربى Electric Discharge



شكل (١٤- ١٩)

رسم تخطيطى لجهاز الليزر هليوم - نيون



شكل (١٤- ٩ب)

شكل خارجى لجهاز ليزر الهليوم - نيون

(ب) عمل الجهاز

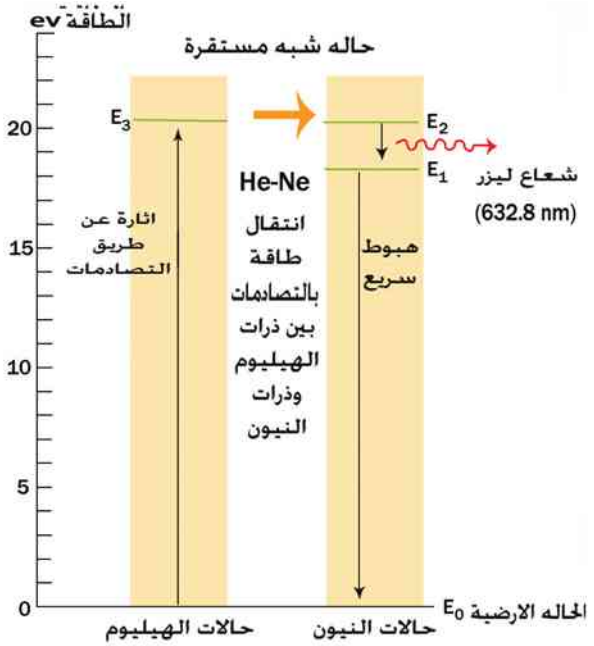
١- يؤدى فرق الجهد الكهربى داخل الأنبوبة إلى إثارة ذرات الهليوم إلى مستويات الطاقة العليا كما بالشكل (١٤- ١٠).

٢- تصطدم ذرات الهليوم المثارة بذرات نيون غير المثارة تصادمًا غير مرن فتنتقل الطاقة من ذرات الهليوم المثارة إلى ذرات النيون نتيجة تقارب قيم طاقة مستويات الإثارة بين الذرتين فتثار ذرات النيون.

٣- يحدث تراكم لذرات النيون المثارة فى مستوى طاقة يتميز بفترة عمر طويلة نسبيا

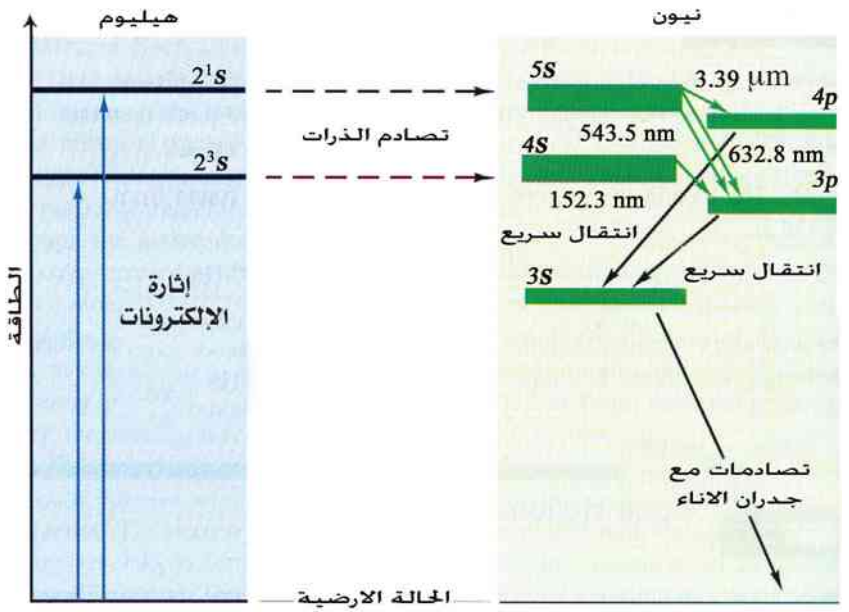
(حوالى $10^{-3}s$) ، ويسمى هذا المستوى بالمستوى شبه المستقر Metastable State . وبذلك يتحقق وضع الإسكان المعكوس Population Inversion فى غاز النيون.

٤- تهبط أول مجموعة من ذرات النيون تم إثارتها هبوطا تلقائيا إلى مستوى طاقة إثارة أقل، وتشع بذلك فوتونات لها طاقة تعادل الفرق بين طاقتى المستويين وهذه الفوتونات تنتشر عشوائيا فى جميع الاتجاهات داخل الأنبوبة.



شكل (١٤-١٠ أ)

رسم مبسط لمخطط مستويات الطاقة فى ليزر الهليوم - نيون



شكل (١٤-١٠ ب)

الانتقالات الفعلية بين مستويات الطاقة فى ليزر الهليوم - نيون

٥- مجموعة الفوتونات التى تتحرك فى اتجاه محور الأنبوبة تصادف فى طريقها أحد المرآتين العاكستين، فترتد بذلك مرة أخرى داخل الأنبوبة ولا تستطيع الخروج.

٦- أثناء حركة الفوتونات بين المرآتين داخل الأنبوبة، تصطدم ببعض ذرات النيون فى مستوى الإثارة شبه المستقر، والتى لم تنته فترة العمر لها ، فتحثها على إطلاق فوتونات لها نفس طاقة واتجاه الفوتونات المصطدمة بها، فيتضاعف بذلك عدد الفوتونات المتحركة داخل الأنبوبة بين المرآتين.

٧- تتكرر الخطوة السابقة مرة أخرى، ولكن بالعدد الجديد من الفوتونات المتحركة بين المرآتين، فيتضاعف هذا العدد مرة أخرى، وهكذا حتى تتم عملية تضخيم الاشعاع.

٨- عندما تصل شدة الإشعاع داخل الأنبوبة إلى حد معين، يخرج جزء منه من خلال المرآة شبه المنفذة فى صورة شعاع ليزر، ويبقى باقى الإشعاع داخل الأنبوبة، لتستمر عملية الانبعاث المستحث وإنتاج الليزر.

٩- بالنسبة لذرات النيون التى هبطت إلى المستوى الأقل فإنها تفقد بعد فترة وجيزة باقى ما بها من طاقة فى صور أخرى متعددة وتهبط إلى المستوى الأرضى، لتصطدم بها ذرات هليوم أخرى، وتمدها بالطاقة لمستوى الإثارة شبه المستقر، وهكذا.

١٠- بالنسبة لذرات الهليوم التى فقدت طاقتها بالتصادم مع ذرات النيون وعادت إلى المستوى الأرضى، فإنها تعود وتثار مرة أخرى بفعل التفريغ الكهربى داخل الأنبوبة، وهكذا.

تطبيقات على الليزر

يوجد حالياً أنواع وأحجام مختلفة من الليزر ، ويغطى ضوء الليزر مناطق عديدة من الطيف الكهرومغناطيسى بدأ من المنطقة المرئية إلى المنطقة فوق البنفسجية وتحت الحمراء. وبعض أجهزة الليزر يمكن أن تركز الضوء فى نقطة صغيرة كافية لإسالة وتبخير الحديد، ومنها ما يكفى لثقب الماس ، بالمقابل هناك أنواع أخرى من أجهزة الليزر تبعث من الطاقة ما يكفى لتدمير الصواريخ والطائرات، التى قد تستخدم فى ما يسمى حرب النجوم Star War. من أهم التطبيقات الشائعة لشعاع الليزر ما يلى:

أ - الهولوجرافى او التصوير المجسم:

تتكون صور الاجسام بتجميع الاشعة الضوئية التى تترك سطح الجسم المضاء حاملة المعلومات منه إلى حيث تتكون الصورة. تظهر الصورة نتيجة الاختلاف فى الشدة الضوئية لهذه الاشعة من نقطة الى آخرى.

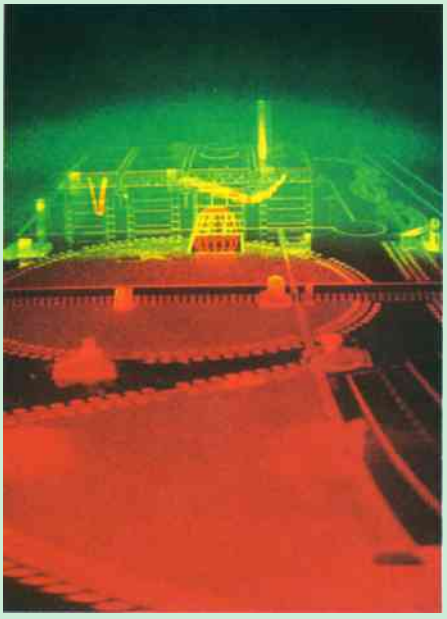
هل الشدة الضوئية هى كل ما تحمله هذه الاشعة من المعلومات عن سطح الجسم؟ لنأخذ شعاعين تركا الجسم المضاء عند نقطتين عليه، هناك اختلاف فى السعه يظهر كإختلاف فى الشدة الضوئية، لأن الشدة الضوئية تتناسب مع مربع السعة، وهناك ايضا اختلاف فى طول المسار من كل من النقطتين على سطح الجسم المضاء الى اللوح الفوتوغرافى الذى يسجل الصورة ، بسبب وجود تضاريس على سطح الجسم. بذلك فإن الاشعة التى تترك الجسم المضاء تحمل ـ بجانب الاختلاف فيما بينها فى الشدة الضوئية ـ اختلافاً فى طول المسار عند وصولها الى اللوح الفوتوغرافى. بتعبير آخر هناك اختلاف فى طور الضوء يساوى ($\frac{2\pi}{\lambda}$ × فرق المسار). يسجل اللوح الفوتوغرافى المعتاد الاختلاف فى الشدة الضوئية فقط، وهو ما يكون الصورة المستوية Plane Image. على ذلك فإن ما نحصل عليه من صور مستوية هو نتيجة جزء فقط من المعلومات التى تحملها موجات الضوء.

فى عام ١٩٤٨ اقترح العالم المجرى جابور Gabor ـ الحاصل على جائزة نوبل ـ طريقة للحصول على ما فقد من المعلومات واستخراجها من الاشعة، باستخدام اشعة أخرى لها نفس الطول الموجى، نسميها الاشعة المرجعية Reference Beam، وهى حزمة من الاشعة المتوازية . تلتقى هذه الاشعة مع الاشعة التى تترك الجسم المضاءحاملة المعلومات، ويتم اللقاء عند اللوح. تحدث نتيجة لذلك ظاهرة التداخل الضوئى بين حزمتى الاشعة. وبعد تحميض اللوح الفوتوغرافى، تظهر هدب التداخل الناتجة وهى صورة مشفرة نسميها الهولوجرام Hologram. بإنارة الهولوجرام بأشعة ليزر لها نفس الطول الموجى وبالنظر خلاله بالعين المجردة، نرى صورة مماثلة تماما للجسم فى أبعاده الثلاثة، دون استخدام عدسات. لا يمكن تحقيق ذلك الا باستخدام مصدر ضوئى فوتونات اشعته مترابطة. وهذا متوفر فقط فى اشعة الليزر.

الجزء الأسفل من الشكل (١٤ - ١٢) يبين النظام البصرى المستخدم للحصول على الهولوجرام بواسطة شعاع الليزر. يمكن تخزين عشرات الصور على الهولوجرام الواحد . كما يمكن الحصول على صور مجسمة فى الهولوجرام لأجسام متحركة.

معلومة إثرائية

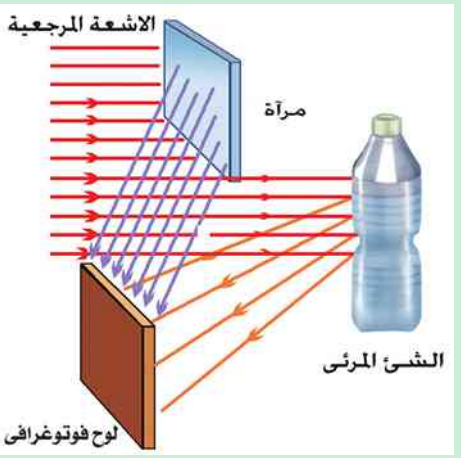
أنواع الهولوجرام



شكل (١٤-١١)
صورة مجسمة فى الفراغ
مكونة بالهولوجرام

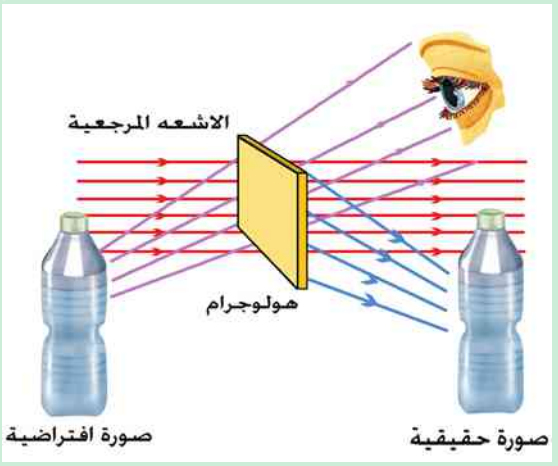
الهولوجرام هو نوع من محزوز الحيود Diffraction Grating وهو تعميم ظاهرة الشق المزدوج ، حيث يحدث تداخل بين الموجات النافذة منه. عند صنع الهولوجرام، يضاء الجسم بأشعة ليزر، ويسجل المنعكس منها على لوح الهولوجرام . وفى نفس الوقت يسجل الشعاع المرجعى. عندئذ تتكون هدب تداخل بين هذه الأشعة. ثم يحمض الهولوجرام، كما يحمض الفيلم الفوتوجرافى. عند قراءة الهولوجرام، يضاء شعاع ليزر فى نفس الاتجاه الذى تم عليه التسجيل. عندئذ يتفاعل شعاع الضوء مع التشكيلات Patterns، التى تكونت فى الهولوجرام، مما يغير اتجاه الضوء النافذ من الهولوجرام. عندما ينظر إلى الهولوجرام فى الاتجاه المقابل للأشعة المرجعية، تظهر صورة تقديرية، كما لو كانت الصورة المجسمة خلف الهولوجرام معلقة فى الهواء على الجانب الأخر من الهولوجرام أى فى جانب الليزر.

لكن يمكن أيضًا تكون صورة حقيقية Real Image فى الجانب المقابل للاشعة المرجعية فى نفس جانب المراقب، إذا وضعت شاشة، أو كان هناك دخان تتكون عليه الصورة فى الفراغ (شكل ١٤-١١). وتوجد أنواع عديدة من الهولوجرام. ما تم وصفه عاليه هو الهولوجرام النافذ Transmission Hologram . وهو الذى يضاء من الخلف (شكل ١٤-١٢)، ويمكن أيضًا أن يضاء بضوء عادى. ولكن تظهر الصورة بألوان مختلفة. أما الهولوجرام الانعكاسى Reflection Hologram فيضاء من الأمام. ويمكن رؤيته



شكل (١٤-١٢ أ)

تكوين الهولوجرام



شكل (١٤-١٢ ب)

الهولوجرام هو نوع من محزوز الحيود

بضوء أبيض عادى أيضا. كما يوجد أيضا نوع من الهولوجرام البارز Embossed Hologram، وهو يشبه أيضا الهولوجرام الانعكاسى من حيث أنه يضاء من الأمام -أى من ناحية المراقب- بالضوء الأبيض العادى ، ويمكن اعتباره فى الحقيقة هولوجرام نفاذى خلفه مرآة، وهو بديل رخيص للهولوجرام. كما يوجد هولوجرام النبضة Pulse Hologram والذى يستخدم نبضات من ضوء ليزر قوى. لذلك يمكن عمل هولوجرام لأناس ولمناظر وأجسام كبيرة. ونظراً للتتابع الزمنى فى العرض فيمكن رؤية أجسام تتحرك وهو أساس السينما المجسمة فى المستقبل (شكل ٤-١٣).

شكل (١٤-١٣)

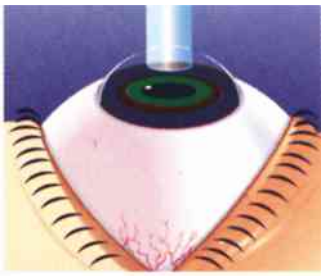
صور متتابعة تعطى الإحساس بالحركة عند النظر إليها و هى ساكنة

ب - فى الطب:

شكل (١٤-١٤)
استخدام الليزر فى علاج
الانفصال الشبكى

تحتوى الشبكية Retina على خلايا حساسة للضوء. احيانا تصاب العين بانفصال بعض اجزاء الشبكية . فى هذه الحالة تفقد الاجزاء المصابة بالانفصال وظيفتها. ما لم يتم علاجها بسرعة قد تتعرض العين الى انفصال تام للشبكية وتفقد العين قدرتها على الابصار. وإذا تم تدارك هذه الحالة أول الأمر فإن علاجها يكون عن طريق اجراء عملية تلحم فيها اجزاء الشبكية المنفصلة بالطبقة التى تحتها. وكانت هذه العملية قديما تستغرق وقتا وجهدا كبيرين، إلا ان اشعة الليزر التى تستخدم الآن لهذا الغرض وفرت كلا من الوقت والجهد، فعملية الالتحام (شكل ١٤-١٤) تتم فى اجزاء صغيرة من الثانية، حيث تصوب حزمة رفيعة من أشعة الليزر خلال انسان العين الى الجزء المصاب بالانفصال او التمزق، وتعمل الطاقة الحرارية لاشعة الليزر على اتمام عملية الالتحام. بذلك تتم حماية العين من استمرار انفصال الشبكية من ناحية، وحمايتها من التعرض لفقد القدرة على الابصار من ناحية آخرى. كما يستخدم الليزر فى علاج حالات قصر وطول النظر ، وبذلك يستغنى المريض عن النظارة (شكل ١٤-١٥).

يمكن استخدام أشعة الليزر مع الألياف الضوئية فى التشخيص والعلاج بواسطة المناظير Endoscopes (شكل ١٤-١٦).



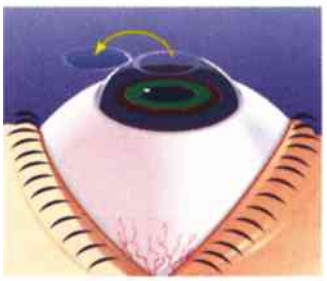
حـ - فى الاتصالات حيث تستخدم اشعة الليزر والألياف الضوئية فى الاتصالات كبديل لكابلات التليفونات.

د - فى الصناعة وعلى الأخص الصناعات الدقيقة.

هـ - فى المجالات العسكرية مثل توجيه الصواريخ بدقة عالية Precision Guidance والقنابل الذكية Smart Bombs ورادار الليزر LADAR (Laser Radar).

و- التسجيل على الأقراص المدمجة (أقراص الليزر CDs) (شكل ١٤-١٧).

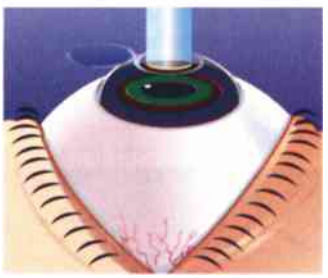
ز- طابعة الليزر ،حيث يستخدم شعاع ليزر فى نقل المعلومات من الكمبيوتر إلى اسطوانة Drum عليها مادة حساسة للضوء ، ثم يتم الطبع على الورق باستخدام الحبر Toner.



ح- الفنون والعروض الضوئية (شكل ١٤-١٩).

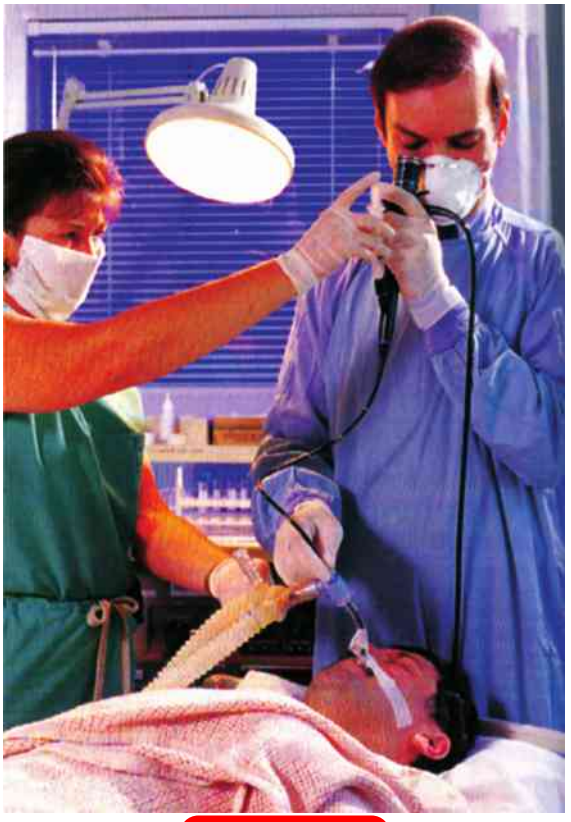
ط- أعمال المساحة Surveying لتحديد المساحات والأبعاد بدقة.

ى- أبحاث الفضاء.



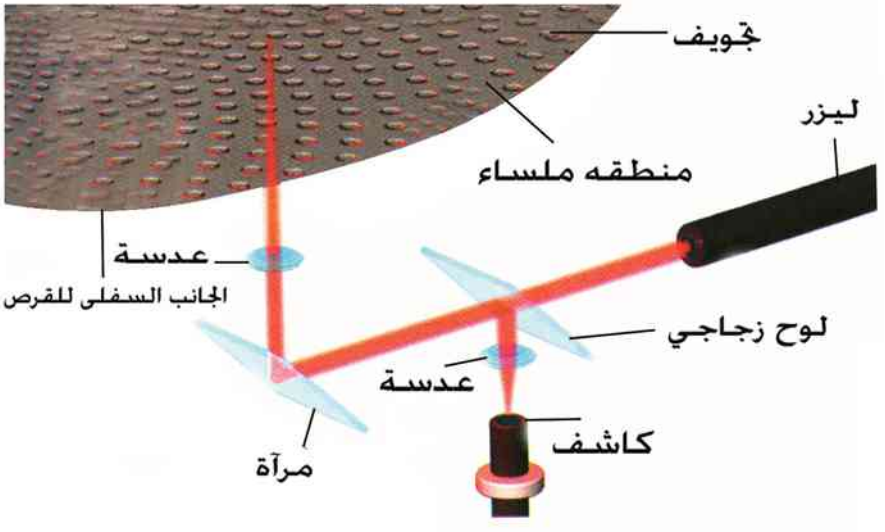
شكل (١٤-١٥)

مراحل علاج القرنية بالليزر



شكل (١٤-١٦)

استخدام الليزر فى جراحة المناظير

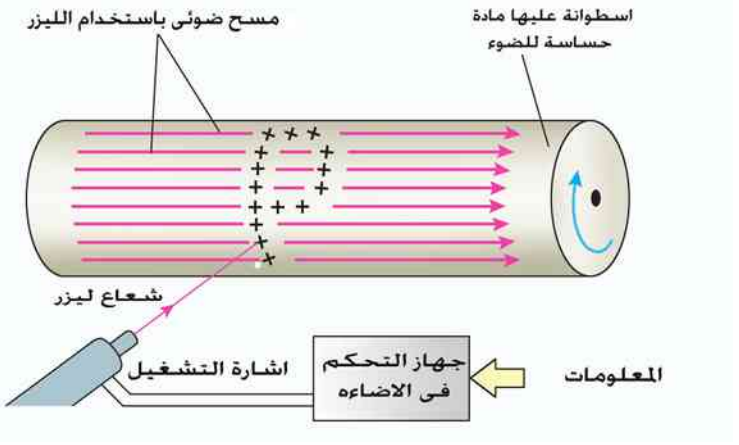


شكل (١٤-١٧)

استخدام الليزر فى التسجيل على الأقراص المدمجة

شكل (١٤-١٧ب)

الأقراص المدمجة (CD)



شكل (١٤-١٨)

استخدام الليزر فى آلات الطباعة

شكل (١٤-١٩)

عروض الليزر

تلخيـــص

- **الانبعاث التلقائى:**

هو انطلاق اشعاع من الذرة المثارة عند انتقالها من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أقل بعد انتهاء فترة العمر تلقائياً وبدون تدخل خارجى.

- **الانبعاث المستحث:**

هو انطلاق إشعاع من الذرة المثارة نتيجة اصطدامها بفوتون آخر خارجى له نفس طاقة الفوتون المسبب لإثارتها، لتخرج فى النهاية فوتونات فى حالة ترابط (أى لها نفس الطور والاتجاه والتردد).

- **خصائص شعاع الليزر:**

١- النقاء الطيفى.

٢- توازى الحزمة الضوئية.

٣- ترابط الفوتونات.

٤- شدة وتركيز الإشعاع.

- **نظرية عمل الليزر**

١- الوصول بالوسط الفعال إلى وضع الإسكان المعكوس.

٢- انطلاق الطاقة من الذرات المثارة بالانبعاث المستحث.

٣- تضخيم الإشعاع المنطلق بالانبعاث المستحث داخل التجويف الرنينى.

- **العناصر الأساسية لليزر:**

يتضمن أى جهاز ليزر وجود ثلاثة عناصر أساسية هى :

١- الوسط المادى الفعال

٢- مصدر الطاقة.

٣- التجويف الرنينى.

- **ليزر الهيليوم .نيون.**

هو أحد أنواع الليزرات الغازية. والوسط الفعال فيه عبارة عن خليط من غازى الهيليوم والنيون بنسبة 1:10

- **تطبيقات الليزر**

١- فى مجال التصوير ثلاثى الأبعاد.

٢ - فى مجال الطب مثل علاج الشبكية وعلاج قصر وطول النظر.

٣. - فى مجال الاتصالات.

٤ - فى مجال الصناعة.

٥- فى المجالات العسكرية.

٦- التسجيل على الأقراص المدمجة.

٧- الطابعة الليزر.

٨- عروض الليزر والفنون.

٩- أعمال المساحة.

١٠- أبحاث الفضاء.

أسئلة وتمارين

أسئلة المقال

١- ما المقصود بكلمة الليزر؟

٢-قارن بين الإشعاع التلقائى والإشعاع المستحث من حيث الطريقة التى يحدث بها كل منهما وخصائصه

٣- يتميز ضوء الليزر عن الضوء العادى بعدة خصائص. ناقش كلاً من هذه الخصائص بالتفصيل

٤- ناقش بالتفصيل مبدأ عمل الليزر

٥- ما المقصود بكل من: عملية الضخ - وضع الإسكان المعكوس.

٦- ما هو الدور الذى يقوم به التجويف الرنينى فى إنتاج شعاع الليزر؟

٧- تتكون أجهزة الليزر على اختلاف أنواعها من ثلاثة عناصر أساسية. ما هى هذه العناصر؟

٨ - على أى أساس تم اختيار عنصرى الهليوم والنيون كوسط فعال لإنتاج شعاع الليزر؟

٩- ما هو الدور الذى يقوم به عنصر الهليوم فى توليد الليزر فى ليزر الهليوم - نيون؟

١٠- أشرح بالتفصيل كيف تم توليد شعاع الليزر فى جهاز ليزر الهليوم - نيون.

١١- اشرح بالتفصيل كيف تتم عملية التصوير ثلاثى الأبعاد باستخدام الليزر.

١٢- يستخدم الليزر كثيراً فى مجال الطب. ناقش أحد استخداماته فى هذا المجال.

١٣ - يلعب الليزر دورا فعالا فى توجيه الصواريخ فى التطبيقات الحربية. على أى أساس يستخدم الليزر فى هذا الغرض؟

مقدمة فى الفيزياء الحديثة

الوحدة الخامسة

الفصل الخامس عشر : الإلكترونيات الحديثة

الفصل الخامس عشر
الإلكترونيات الحديثة

مقدمة :

يشهد العالم تقدما هائلا فى مجال الإلكترونيات والاتصالات، حتى أنها أصبحت السمة المميزة لهذا العصر. فقد أصبحت الإلكترونيات والاتصالات، جزءا لا يتجزأ من حياتنا، فالتليفزيون والتليفون المحمول والكمبيوتر والأقمار الصناعية وغيرها من النظم تعد شاهدا على التقدم الهائل فى استخدامات الإلكترونيات والاتصالات سواء فى نقل المعلومات أو الترفيه أو الثقافة، بل أنها أصبحت أيضا عنصرا أساسيا فى الحرب الحديثة. فلم تعد الأسلحة قوة نيران فقط، وإنما يقوم التوجيه والاستطلاع والرصد والتشويش والخداع بدور حاسم. كذلك فى مجال الطب، سواء فى التشخيص أو المتابعة أو العمليات الجراحية، فإن الإلكترونيات لها دور أساسى. وباختصار لا يوجد مجال واحد من مجالات الحياة إلا وتلعب الإلكترونيات دورا حيويا فيه ، بدءًا من الألعاب الإلكترونية إلى الحرب الإلكترونية. ومن ثم فلابد من تحصيل قدر مبسط من المعلومات عن الإلكترونيات، مهما كان التخصص المهنى مستقبلا.

أصل علم الإلكترونيات

أصل كلمة الإلكترونيات Electronics هو الإلكترون، فعلم الإلكترونيات مبنى على سلوك الإلكترون، هناك حالتان للإلكترون، الإلكترون الحر Free Electron والإلكترون المقيد Bound Electron. الإلكترون الحر-كما فى حالة أنبوبة التليفزيون- يخضع للفيزياء الكلاسيكية . أما الإلكترون المقيد فيخضع للفيزياء الكمية، وقد يكون التقييد داخل ذرة أو جزىء أو فى جسم المادة. والمواد تكون إما فى صورة غازية أو سائلة أو صلبة أو بلازما (حيث تكون الغازات متأينة كما فى مصباح الفلورسنت). والمادة فى كل صورة تتكون من جزيئات، وما يميز هذه الحالات عن بعضها هو المسافات بين الجزيئات. ففى الحالة الصلبة، تكون المسافة صغيرة، وفى الحالة الغازية تكون المسافة كبيرة، وفى الحالة السائلة تكون وسطًا. فإذا اعتبرنا الحالة الجامدة Solid State، فإن ذرات (أو جزيئات) المادة تتقارب مع بعضها إلى مسافة معينة، بفعل قوى التجاذب بينها. فإذا تصورنا أنها تتقارب أكثر من ذلك نجد أن قوى التنافر تمنع هذا التقارب. وعلى ذلك فإن المسافة

البينية بين الذرات تمثل نقطة الاتزان بين قوى التجاذب وقوى التنافر بين الذرات وبعضها البعض. ويلاحظ أن هذه الذرات تتذبذب - بفعل الحرارة مثلاً - حول مواضع اتزانها. ولكن يفصل بينها فراغ. ولكننا لا نرى هذه الفراغات بالعين المجردة لأن المسافة البينية أصغر بكثير من الطول الموجى لفوتونات الضوء المرئى الذى تحس العين به.

الإلكترون داخل الذرة :

يعتبر الإلكترون داخل الذرة إلكترونا مقيدا، فهو لا يستطيع أن يغادرها من تلقاء نفسه، بل يحتاج إلى طاقة خارجية لتحرره. وهذه الطاقة تسمى طاقة التأين أى أن طاقته داخل الذرة أقل من طاقته وهو حر. وهذا هو السبب فى بقائه داخل الذرة ويسمى فرق الطاقة طاقة الربط Binding Energy. وهذا هو سر استقرار الذرة. هذا الإلكترون له طاقة متقطعة القيمة Discrete حسب نموذج بور Bohr ، فهو يشغل واحدا من مستويات الطاقة Energy Levels المسموح بها، ولا يمكنه أن يحصل على قيمة طاقة تقع بين هذه المستويات. ويحكم الإلكترون داخل الذرة ميكانيكا الكم Quantum Mechanics. وعلى ذلك فإن احتمال سقوط الإلكترون على النواة يساوى صفراً، وكذلك وجوده عند مالا نهاية، وهذا يفسر بقاء الإلكترون مقيدا داخل الذرة. ما يربط الإلكترون بالنواة هى قوة تجاذب كهربية.

وإذا كان الإلكترون يشغل مستوى معينا من الطاقة، فإنه لا يفقد الطاقة أو يكتسبها، طالما ظل فى هذا المستوى. أما إذا اكتسب إلكترون طاقة عن طريق امتصاص فوتون مثلا، فإنه ينتقل إلى مستوى أعلى. وإذا عاد إلى المستوى الأول يفقد الطاقة التى سبق اكتسابها على هيئة فوتون. وإذا نظرنا إلى توزيع الإلكترونات على مستويات الطاقة، فإننا نجد أنه كلما زادت قيمة مستوى الطاقة فإن احتمال تواجد الإلكترون فيه تقل. وهكذا، فإن هناك عملية اتزان مستمرة بين عملية الاستثارة Excitation وعملية الاسترخاء Relaxation، وهى عملية الرجوع إلى المستوى الأدنى Ground State.

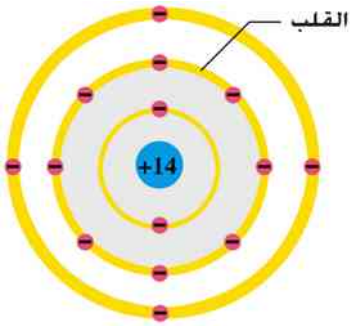
أشباه الموصلات النقية:

توجد ثلاثة أنواع من المواد من وجهة نظر التوصيلية الكهربية، وهى الموصلات Conductors والعوازل Insulators وأشباه الموصلات Semiconductors.

الموصلات: هى التى توصل الكهربية والحرارة بسهولة (مثل المعادن).

العوازل: التى لا توصل الكهربية والحرارة بسهولة (مثل الخشب والبلاستيك).

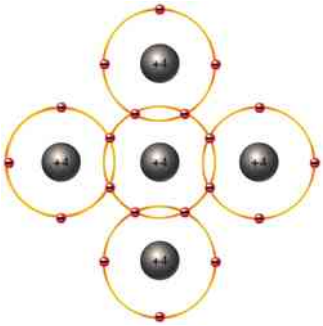
أشباه الموصلات: هى مرحلة متوسطة تتميز بأن التوصيلية تزداد مع درجة الحرارة (ومن أمثلتها السيليكون).



(شكل ١٥ - ١أ)

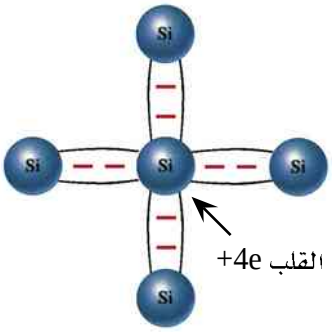
ذرة السليكون

السيليكون من العناصر المهمة فى الكون. فهو يدخل فى تركيب الرمل وصخور القشرة الأرضية. ولكن بلورة السيليكون النقى تتكون من ذرات سيليكون تربطها روابط تساهمية (البلورة هى ترتيب هندسى منتظم للذرات فى الحالة الجامدة). فذرة السيليكون تحتوى على أربعة إلكترونات فى القشرة الخارجية (شكل ١٥ - ١)، ولذلك تتشارك كل ذرة سيليكون مع أربعة ذرات من جيرانها، بحيث تكتمل القشرة الخارجية Outer Shell. وبذلك تحتوى القشرة الخارجية لكل ذرة سيليكون على ثمانية إلكترونات بأسلوب التشارك (شكل ١٥-١٢ أ ، ب). ولابد أن نميز هنا بين نوعين من الكترونات السيليكون. النوع الأول إلكترونات المستويات الداخلية، وهى مرتبطة بشدة Tightly Bound، وترتبط جذبا بنواة الذرة. ثم النوع الثانى إلكترونات التكافؤ فى القشرة الخارجية Valence Electrons ولها حرية أكبر فى الحركة عبر المسافات البينية. وفى درجات الحرارة المنخفضة (شكل ١٥-٢جـ) تكون جميع الروابط بين الذرات فى البلورة سليمة ولا توجد فى هذه الحالة إلكترونات حرة على غرار المعدن. إلا أنه بارتفاع درجة الحرارة تنكسر بعض الروابط Bonds فتنطلق بعض الإلكترونات من روابطها وتصبح إلكترونات حرة. ويترك مثل هذا الإلكترون وراءه مكانا فارغا فى الرابطة المكسورة Broken Bond يعبر عنه



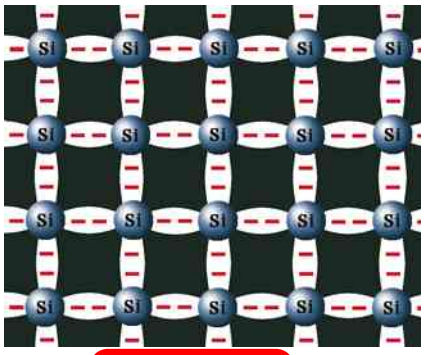
(شكل ١٥ - ١٢)

كل ذرة تتشارك مع جيرانها الأربعة



(شكل ١٥ - ٢ب)

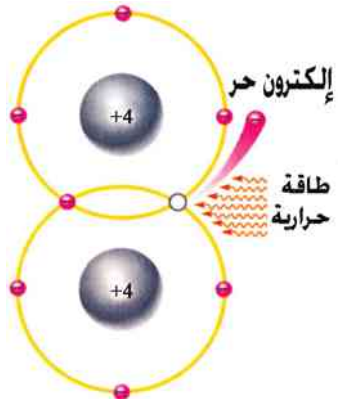
(الرابطة التساهمية) يمكن تمثيل ذرة السليكون (نواة موجبة +14e وإلكترونات سالبة -14e) بقلب شحنته موجبة +4e يحيط به أربعة إلكترونات فى القشرة الخارجية شحنتها سالبة -4e



(شكل ١٥ - ٢جـ)

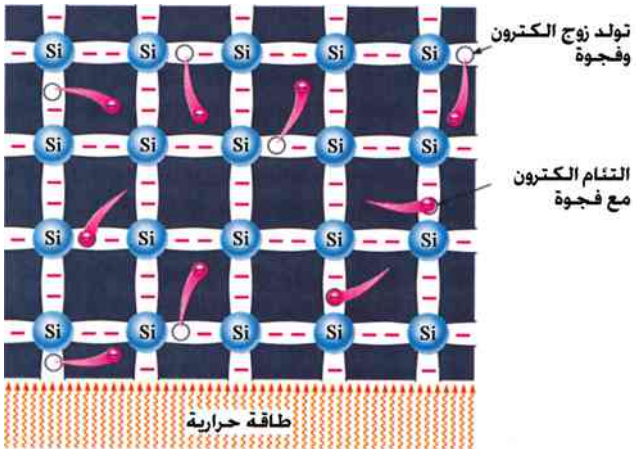
بلورة السليكون فى درجة الصفر المطلق كل الروابط سليمة

بالفجوة Hole التى كان الإلكترون يشغلها (شكل ١٥ -٣). ولأن الذرة متعادلة فإن غياب إلكترون عن الذرة يعنى ظهور شحنة موجبة. ولذلك فإن الفجوة تمثل شحنة موجبة. ويلاحظ أننا لا نسمى الذرة التى كسرت أحد روابطها أيونا لأن الفجوة سرعان ما تقتنص إلكترونا آخر، إما من رابطة مجاورة أو من الإلكترونات الحرة. فتعود الذرة متعادلة كما كانت، وتنتقل الفجوة إلى رابطة أخرى وهكذا.



(شكل ١٥ -١٣)

كسر الرابطة يحتاج طاقة



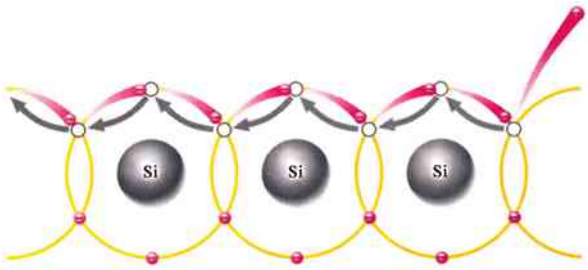
(شكل ١٥ -٣ب)

كلما زادت درجة الحرارة كسرت روابط أكثر

وكلما زادت درجة الحرارة زاد عدد الإلكترونات الحرة وعدد الفجوات، مع مراعاة أن عدد الإلكترونات الحرة يساوى عدد الفجوات فى حالة السيليكون النقى. ولا تظل هذه الزيادة مستمرة حيث تصل البلورة إلى حالة من الاتزان الديناميكى Dynamic Equilibrium تسمى الاتزان الحرارى Thermal Equilibrium، إذ لاتنكسر إلا نسبة ضئيلة من الروابط، وفيها يتساوى عدد الروابط المكسورة فى الثانية مع عدد الروابط التى يتم تكوينها فى الثانية، ليبقى فى النهاية هناك عدد ثابت من الإلكترونات الحرة والفجوات الحرة لكل درجة حرارة.

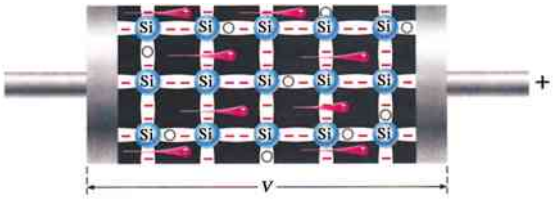
وعلى ذلك فإن الإلكترونات الحرة تمثل النوع الثالث من الإلكترونات التى تتحرك، وهى أيضا مقيدة ولكن فى حيز أكبر هو البلورة ذاتها، ويحدها سطح البلورة. يحتاج كسر الرابطة إلى حد أدنى من الطاقة إما على صورة طاقة حرارية أو ضوئية. وفى حالة التئام الرابطة Recombination تنطلق الطاقة على شكل طاقة حرارية أو ضوئية.

وكما يتحرك الإلكترون حركة عشوائية، تتحرك أيضا الفجوات عشوائياً حيث تتجه حركة الإلكترونات داخل الروابط لملء الفراغات التي تنشأ عن كسر الروابط (شكل ١٥-٤).



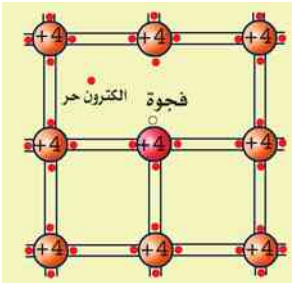
(شكل ١٥ - ٤أ)

تتحرك الفجوات عشوائيا بين الروابط



(شكل ١٥ - ٤ب)

حركة الفجوات تكافىء حركة الإلكترونات داخل روابطها (فى اتجاه عكسى)

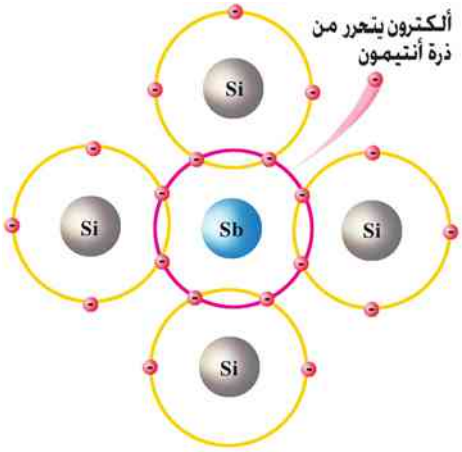


(شكل ١٥ - ٤جـ)

عند درجة حرارة معينة يظل عدد الالكترونات الحرة والفجوات الحرة ثابتا

التطعيم (إضافة الشوائب) Doping:

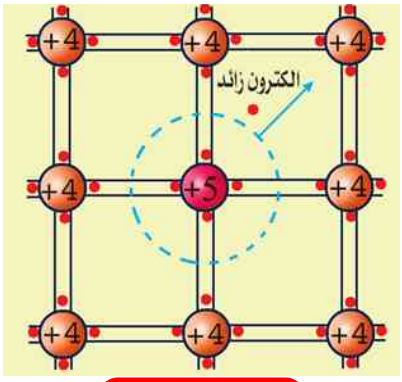
تتميز أشباه الموصلات بحساسيتها الشديدة للشوائب Impurities، كما تتميز بحساسيتها الشديدة للحرارة. وحيث أن السيليكون من المجموعة الرابعة فى الجدول الدورى فإن إضافة عنصر مثل الفوسفور P أو الأنتيمون Sb وغيره من المجموعة الخامسة Pentavalent، من شأنه إحلال الذرة الشائبة مكان ذرة سيليكون (شكل ١٥ - ٥أ). هنا تحاول ذرة الفوسفور أن تقوم بنفس العمل الذى



(شكل ١٥ - ٥أ)

ذرة أنتيمون (المجموعة الخامسة) تحل محل ذرة سيليكون

كانت تقوم به ذرة السيليكون، من حيث إنشاء الروابط مع الجيران. ولأن الذرة الشائبة تحتوى على خمسة إلكترونات فإن أربعة منها تشترك فى الروابط ويبقى إلكترون واحد خارج هذه الروابط. وتكون قوى الجذب عليه ضعيفة فسرعان ما تفقده الذرة الشائبة نهائيا وتصبح أيونا موجبا، وينضم هذا الإلكترون الحر إلى رصيد البلورة من الإلكترونات الحرة. أى أن البلورة أصبح لها مصدر آخر للإلكترونات الحرة وهو ذرات الشوائب. وتسمى مثل هذه الذرة الشائبة بالذرة المعطية Donor . ويحدث اتزان حرارى حيث يكون مجموع الشحنة الموجبة = مجموع الشحنة السالبة.

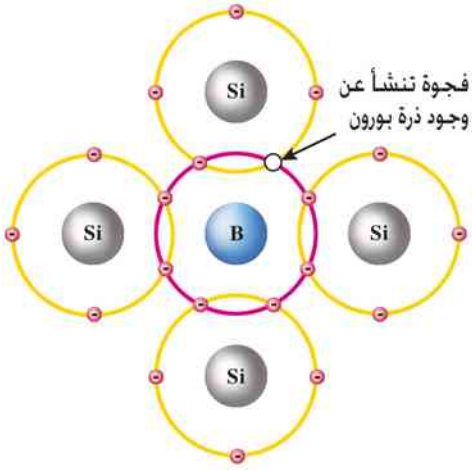


(شكل ١٥ - ٥ ب)

التطعيم بشائبة خماسية يوفر إلكترونات حرة للتوصيل. يمكن تمثيل ذرة الشائبة بقلب شحنته موجبة 5e+ يحيط به خمسة إلكترونات أربعة منها فى روابط والإلكترون الزائد يتحرر

$$n = p + N_D \qquad (15 - 1)$$

حيث N_D هو تركيز أيونات الشوائب المعطية و n هو تركيز الإلكترونات الحرة و p هو تركيز الفجوات. ومن ثم يتضح أنه فى هذه الحالة n أكبر من p تصبح هذه المادة من نوع n-type. وبالعكس إذا أضفنا ذرات الومنيوم Al أو بورون B وغيره (المجموعة الثالثة) بدلا من الفوسفور أو الأنتيمون وغيره (شكل ١٥ - ٦) ، هنا تكتسب ذرة الشائبة ذات الإلكترونات الثلاثة إلكترونا من إحدى روابط السيليكون ليصبح عددها أربعة فتظهر فجوة فى رابطة سيليكون. ونتيجة لذلك، تضيف ذرات الشوائب فجوات غير الفجوات التى نشأت بفعل الحرارة. ويتطلب الاتزان الحرارى أن يكون:



(شكل ١٥ - ٦)

ذرة بورن (المجموعة الثالثة) تحل محل ذرة سيليكون

$$p = N_A + n \qquad (15 - 2)$$

حيث N_A هو تركيز أيونات الشوائب السالبة، أى أن p أكبر n فى هذه الحالة، وتسمى مثل هذه الذرة الذرة المستقبلة Acceptor. وفى جميع الأحوال نجد أن

$$np = n_i^2 \qquad (15 - 3)$$

حيث n_i هو تركيز الإلكترونات أو الفجوات فى حالة السيليكون النقى، أى أنه إذا زادت n تنقص p وبالعكس. ويسمى هذا قانون فعل الكتلة Mass Action Law. ويمكن على سبيل التقريب أن نقول:

فى حالة n - type

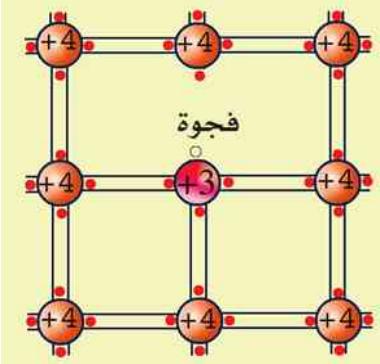
$$n = N_D \qquad (15 - 4)$$

$$p = n_i^2 / N_D \qquad (15 - 5)$$

وفى حالة p - type

$$p = N_A \qquad (15 - 6)$$

$$n = n_i^2 / N_A \qquad (15 - 7)$$

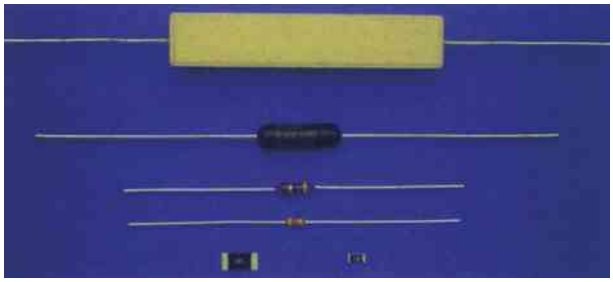


(شكل ١٥ - ٦ب)

التطعيم بشائبة ثلاثية يوفر فجوات حرة للتوصيل. يمكن تمثيل ذرة الشائبة بقلب شحنته موجبه 3e+ يحيط به ثلاثة إلكترونات ثم تخطف الذرة إلكترونا من ذرة سليكون مكونة فجوة

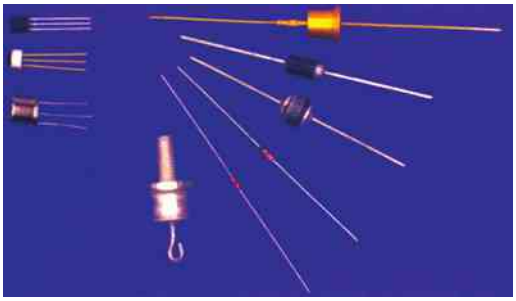
المكونات أو النبائط الإلكترونية Electronic Components and Devices:

المكونات والنبائط Devices هى وحدات البناء التى تبنى عليها كل الأنظمة الإلكترونية (شكل ١٥ - ٧) . بعض هذه المكونات بسيطة مثل المقاومة R وملف الحث L والمكثف C. وبعضها أكثر تعقيدا مثل الوصلة الثنائية pn-junction (دايود) والترانزيستور Transistor بأنواعه. كما توجد نبائط أخرى متخصصة (مثل نبائط كهروضوئية ونبائط التحكم فى التيار وغيرها). وتتميز أشباه الموصلات والتى تصنع منها أغلب النبائط بحساسيتها للعوامل المحيطة بها مثل الضوء والحرارة والضغط والتلوث الذرى والكيميائى وغيرها. ولهذا تستخدم كمحسات Sensors أى كوسائل قياس لهذه العوامل. وعن طريقها يمكن قياس شدة الضوء الساقط أو درجة الحرارة أو الضغط أو الرطوبة أو التلوث الكيميائى أو الإشعاع الذرى وغيرها.



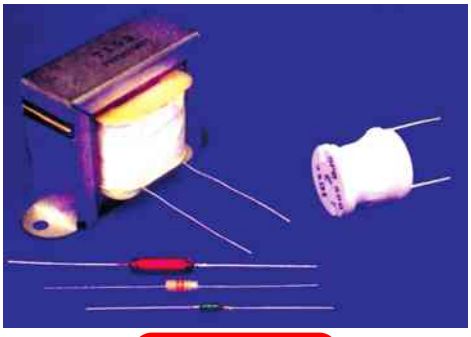
(شكل ١٥ - ٧أ)

مجموعة مقاومات



(شكل ١٥ - ٧ب)

مجموعة من الدايود والترانزستور



(شكل ١٥ - ٧جـ)

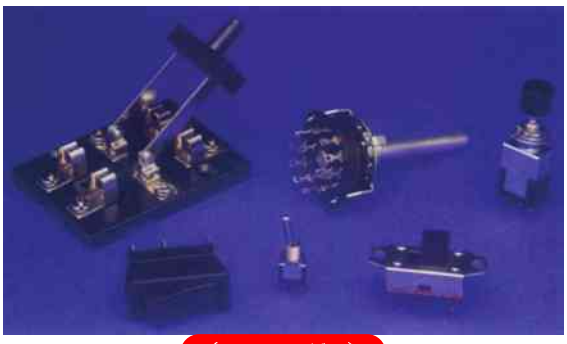
مجموعة من ملفات الحث

(شكل ١٥ - ٧د)

مجموعة من المكثفات

(شكل ١٥ - ٧هـ)

مجموعة من المحولات



(شكل ١٥ - ٧و)

مجموعة من المفاتيح

(شكل ١٥ - ٧ز)

مجموعة مختلفة من النبائط والمكونات الإلكترونية

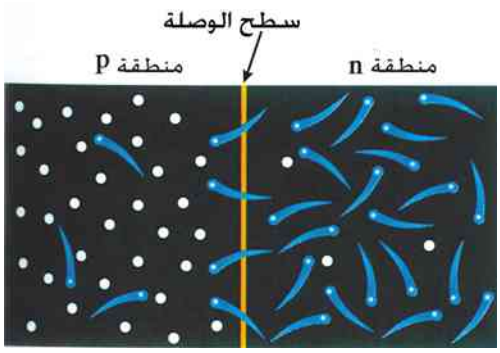
(هل يمكنك التعرف على بعضها؟)

الوصلة الثنائية pn Junction:

(شكل ١٥ - ٨)

الوصلة الثنائية

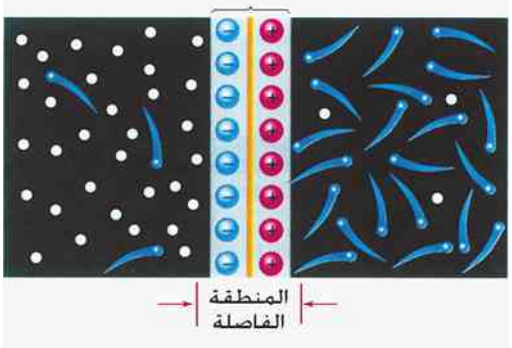
تتكون الوصلة الثنائية pn Junction (شكل ١٥ - ٨) من جزئية أحدها من النوع n-type والآخر من النوع p-type، ففى هذه الحالة فإن الفجوات فى p-type - وهى ذات تركيز عال - تنتشر إلى منطقة n-type حيث أن تركيز الفجوات بها قليل. وكذلك الإلكترونات فى منطقة n-type ذات التركيز العالى تنتشر فى منطقة p-type ذات التركيز المنخفض بالنسبة للإلكترونات. ولذا ينشأ تيار انتشار يدفع الفجوات من منطقة p إلى منطقة n وتيار يدفع الإلكترونات من منطقة n إلى منطقة p . ولما كانت كل منطقة على حدة متعادلة (بسبب تعادل الشحنات الموجبة والشحنات السالبة فى كل منطقة على حدة) فإن هجرة الكترونات من منطقة n-type من شأنه أن يكشف جزءا من الأيونات الموجبة دون غطاء يعادلها من الإلكترونات. وكذلك فإن هجرة فجوات من منطقة p-type من شأنه كشف جزء من الأيونات السالبة دون غطاء يعادلها من الفجوات وينتج عن ذلك منطقة خالية من الإلكترونات والفجوات تكون بها أيونات موجبة فى ناحية وأيونات سالبة فى ناحية أخرى تسمى المنطقة الفاصلة Transition Region. (أو المنطقة القاحلة Depletion Region) ينشأ فى هذه المنطقة مجال كهربى يتجه من الأيونات الموجبة إلى الأيونات السالبة ويتسبب فى دفع تيار (يسمى تيارا انسيابياً Drift Current) فى اتجاه عكس اتجاه تيار الانتشار. وفى حالة الاتزان يتزن التيار فى الاتجاه الأمامى مع التيار فى الاتجاه العكسى لتكون المحصلة صفراً (شكل ١٥-٩). فإذا طبقنا جهدا خارجيا بحيث يكون الطرف p متصلا بالطرف الموجب للبطارية (والطرف n متصلا بالطرف السالب للبطارية) فإن المجال الناشئ عن البطارية يكون عكس اتجاه



(شكل ١٥ - ٩أ)

انتقال الإلكترونات من n إلى p

والفجوات من p إلى n

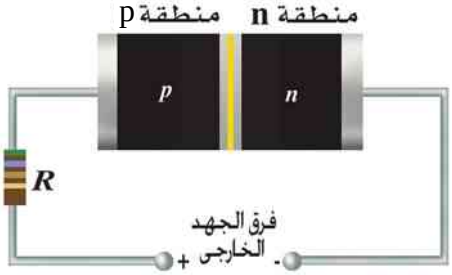


(شكل ١٥ - ٩ب)

المنطقة الفاصلة خالية من الالكترونات

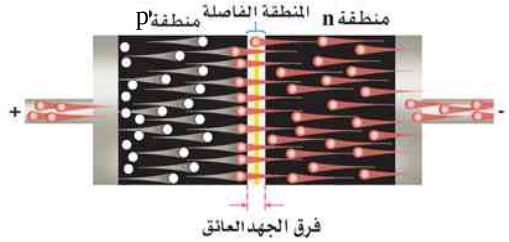
والفجوات (أيونات فقط)

المجال الداخلى فى المنطقة الانتقالية فيضعفه. أما إذا عكسنا اتجاه فرق الجهد فإن المجالين يكونان فى نفس الاتجاه. ومعنى ذلك أنه فى الاتجاه الأول (الأمامى Forward) يسمح بمرور تيار. ويكون التوصيل فى هذه الحالة أمامى Forward Connection



(شكل ١٥ - ١٠أ)

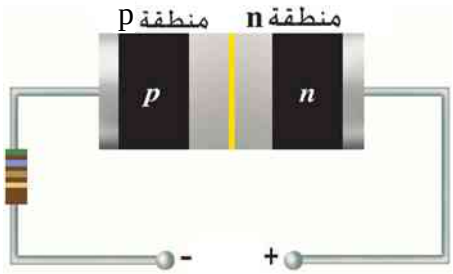
تطبيق فرق جهد خارجى أمامى



(شكل ١٥ - ١٠ب)

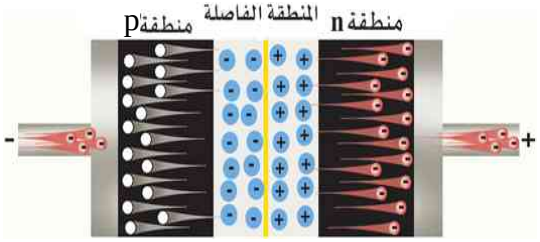
حركة الإلكترونات والفجوات نتيجة فرق الجهد الخارجى

حيث يكون p متصلا بالطرف الموجب وn متصلا بالطرف السالب للبطارية (شكل ١٥-١٠) أما التوصيل العكسى Reverse Bias فيكون حيث توصل p بالطرف السالب وn متصلا بالطرف الموجب للبطارية (شكل ١٥-١١). وهكذا فإن الوصلة الثنائية توصل



(شكل ١٥ - ١١أ)

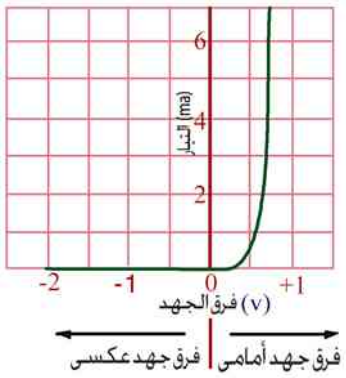
التوصيل العكسى فى الوصلة الثنائية



(شكل ١٥ - ١١ب)

حركة الإلكترونات والفجوات فى التوصيل العكسى

التيار بسهولة فى اتجاه وتمنعه تقريباً فى الاتجاه العكسى ، (شكل ١٥ -١٢). ويمكن تشبيه عمل الوصلة بمفتاح يكون المفتاح مغلقاً في الاتجاه الأمامى للجهد ومفتوحاً فى الاتجاه العكسى (شكل ١٥-١٣). ومن ثم يمكن التأكد من سلامة الوصلة الثنائية باستخدام أوميتر، إذ يجب أن يعطى مقاومة صغيرة جدا فى اتجاه ومقاومة عالية جدا فى الاتجاه العكسى. وهذا السلوك يختلف تماما عن المقاومة الكهربية التى توصل التيار بنفس القيمة إذا انعكس اتجاه التيارفى حالة إذا ما انعكس فرق



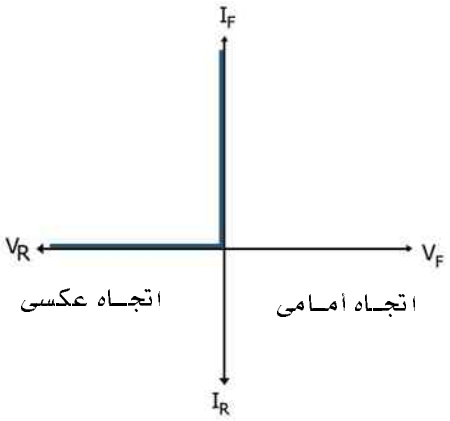
(شكل ١٥ -١٢)

التمثيل البيانى بين فرق الجهد والتيار فى الوصلة

الجهد. للوصلة الثنائية دور مهم فى عملية تقويم التيار المتردد Rectification (أى جعله فى اتجاه واحد) وهو ما يستخدم فى شحن بطاريات السيارة وشحن شاحن التليفون المحمول Mobile وغيره ، حيث تستخدم الوصلة الثنائية - وتسمى عادة دايود Diode - فى تحويل التيار المتردد AC إلى تيار مستمر DC (شكل ١٥ -١٤).

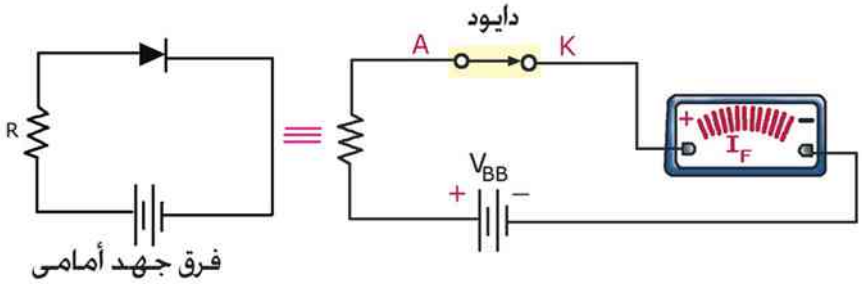
(شكل ١٥- ١٣ا)

رمز الدايود



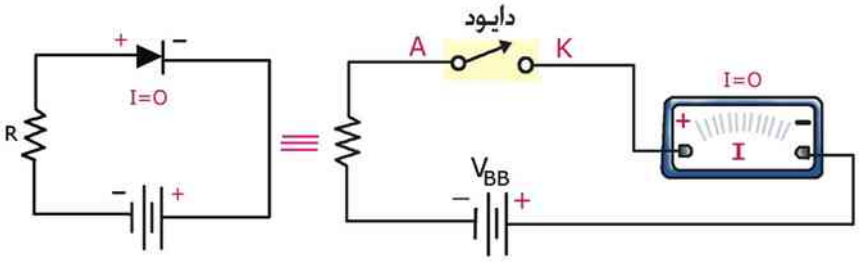
(شكل ١٥- ١٣ب)

علاقة V,I التقريبية



(شكل ١٥ -١٣جـ)

فى الاتجاه الأمامي تمثل الوصلة الثنائية مفتاحا مغلقا (يوصل التيار)



(شكل ١٥ -١٣د)

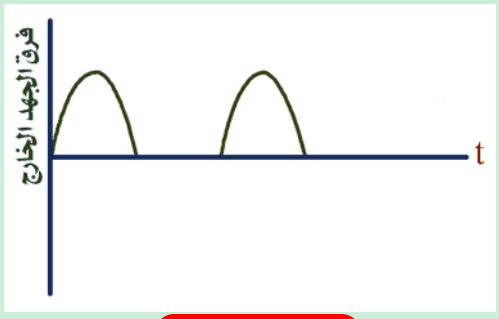
فى الاتجاه العكسى يمثل الوصلة الثنائية مفتاحا مفتوحا (لا يوصل التيار)

معلومة إثرائية

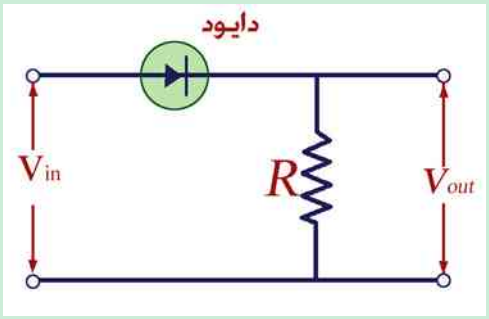
كيف يتحول التيار من AC إلى DC ؟

يمكن تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر بعدة خطوات:

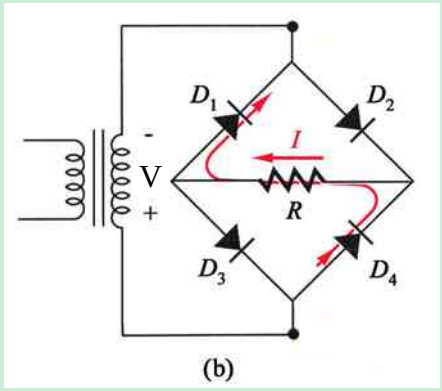
أولا استخدام دايود يقوم التيار تقويما نصف موجى (شكل ١٥ - ١٤أ) بمقاومة ودايود واحد (شكل ١٥ - ١٤ب) ، أو يمكن باستخدام ٤ دايود علي هيئة قنطرة (شكل ١٥-١٤ جـ،د) للحصول على تقويم موجى كامل (شكل ١٥ . ١٤هـ) . كذلك يمكن الحصول علي تيار ثابت الشدة تقريبا (شكل ١٥- ١٤و) بإضافة مكثف للدائرة (شكل ١٥-١٤ز).



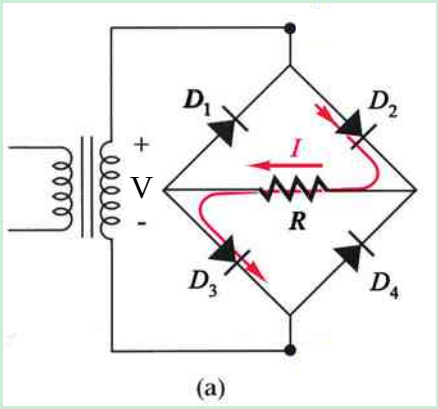
(شكل ١٥ -١٤أ)



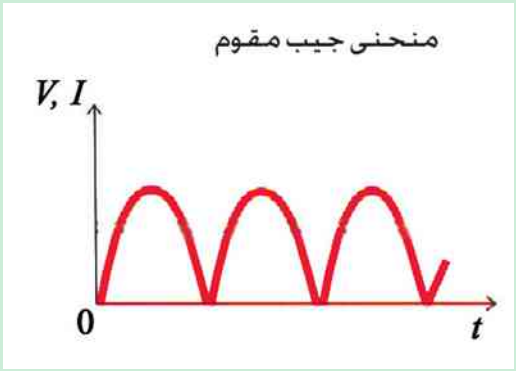
(شكل ١٥ -١٤ب)



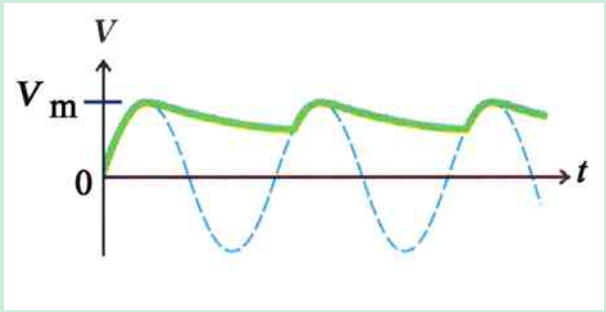
(شكل ١٥ -١٤جـ)



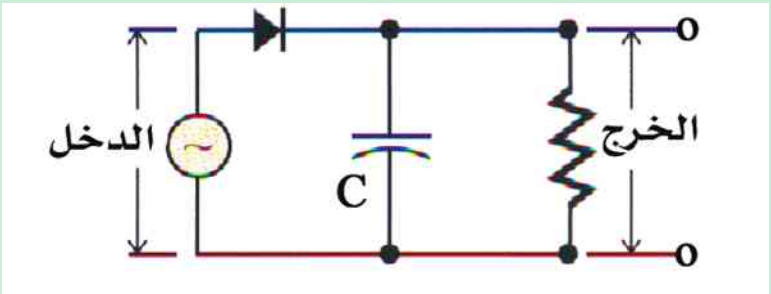
(شكل ١٥ -١٤د)



(شكل ١٥ - ١٤هـ)



(شكل ١٥ - ١٤و)

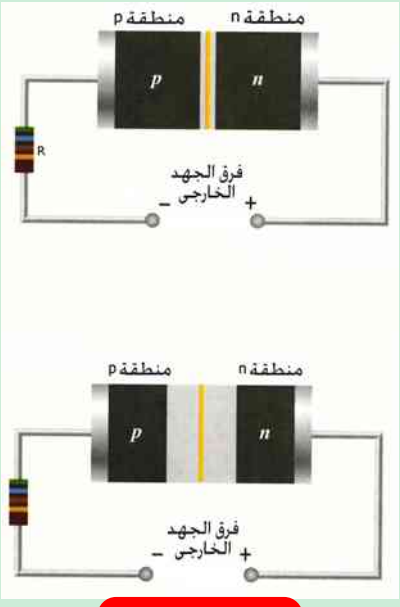


(شكل ١٥ - ١٤ز)

معلومة إثرائية

التوليف الإلكترونى Electronic Tuning

لضبط جهاز الراديو أو التليفزيون على محطة معينة، نحتاج ضبط قيمة مكثف ملف حث لتعطى الدائرة ترددا يساوي تردد المحطة المطلوب الاستماع إليها أو مشاهدتها، وهو ما يسمى بالرنين Resonance، وفى الأجهزة الحديثة يتم تغيير قيمة المكثف باستخدام خاصية الدايود فى حالة وجود جهد عكسى. إذ يزداد عرض المنطقة الفاصلة، كلما زاد الجهد العكسى (شكل ١٥-١٥) حسب هذا الجهد. ولأن زيادة هذا العرض تعنى تزايدا فى الشحنات أى الأيونات، فيشبه هذا التغير فى الشحنة مع فرق الجهد ما يحدث على طرفى المكثف. أي أن الدايود في الاتجاه العكسى يكافىء مكثفاً Capacitor وهكذا يمكن تغيير قيمته حسب فرق الجهد العكسى عليه. وهذا ما يسمى التوليف الإلكترونى.



(شكل ١٥- ١٥)

عرض المنطقة الفاصلة يزداد مع ازدياد فرق الجهد العكسى

الترانزستور Transistor:

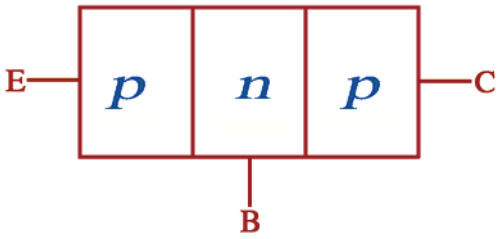
تم اكتشاف الترانزستور عام ١٩٥٥ ويرجع الفضل فى ذلك إلى كل من باردين Bardeen وشوكلى Schockley وبراتين Brattain . توجد أنواع مختلفة من الترانزستور. وسنكتفى هنا بالترانزستور من نوع pnp أو npn . ويعنى ذلك أنه يتكون من منطقة p تليها n ثم p أو منطقة n تليها p ثم n (شكل ١٥ - ١٦).

مخترعو الترانزستور باردين وشوكلى وبراتين (من اليسار)

وتسمى المنطقة الأولى الباعث Emitter (E) والأخيرة المجمع Collector (C) والوسطى القاعدة Base (B). وعرض القاعدة صغير للغاية. ولنأخذ مثلا npn . تكون الوصلة الأولى np أمامية التوصيل Forward Biased. أما الوصلة الثانية pn فتكون عكسية التوصيل Reverse Biased. فى هذه الحالة تنطلق الإلكترونات

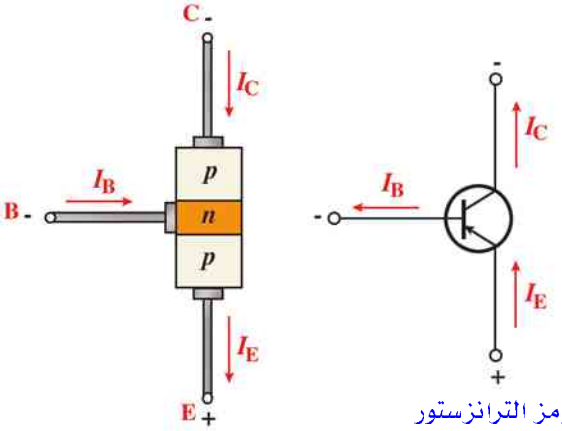
من الباعث السالب n إلى القاعدة p حيث تنتشر بعض الوقت إلى أن يتلقفها المجمع n موجب. ولكن لأن الإلكترونات تنتشر فى قاعدة مليئة بالفجوات فإن عملية الإلتئام Recombination التى تتم فى القاعدة تستهلك نسبة من هذه الإلكترونات. فإذا كان تيار الإلكترونات المنطلق من الباعث هو I_E فإن ما يصل إلى المجمع I_C هو $I_C = \alpha_e I_C$، وما يستهلك فى القاعدة هو $I_B = (1 - \alpha_e) I_E$. وهذا الجزء لابد أن يعوضه التيار فى سلك القاعدة Base Current. ولذلك فإن نسبة تيار المجمع إلى تيار القاعدة ويسمى β_e هى

$$\beta_e = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha_e I_E}{(1-\alpha_e) I_E} = \frac{\alpha_e}{1-\alpha_e} \qquad (15 - 8)$$



(شكل ١٥- ١٦أ)

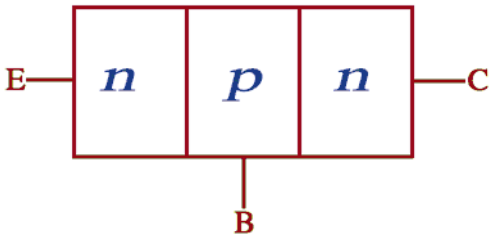
ترانزستور pnp



رمز الترانزستور pnp

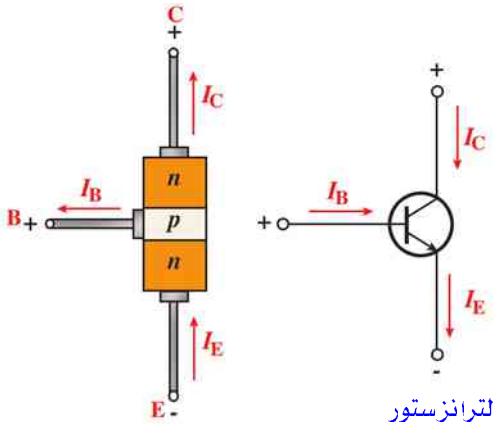
(شكل ١٥- ١٦ب)

الترانزستور pnp



(شكل ١٥- ١٦جـ)

الترانزستور npn

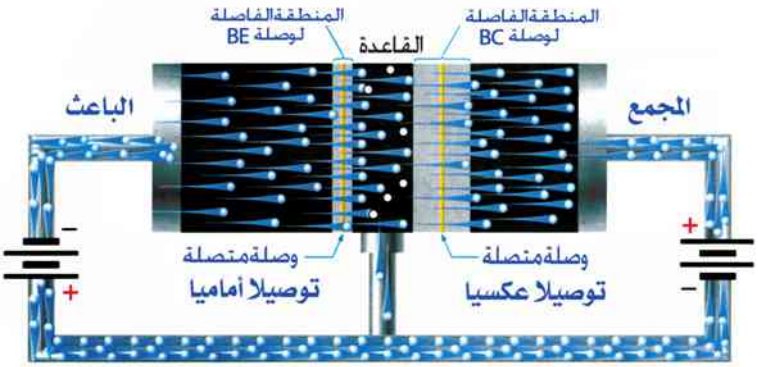


رمز الترانزستور npn

(شكل ١٥- ١٦د)

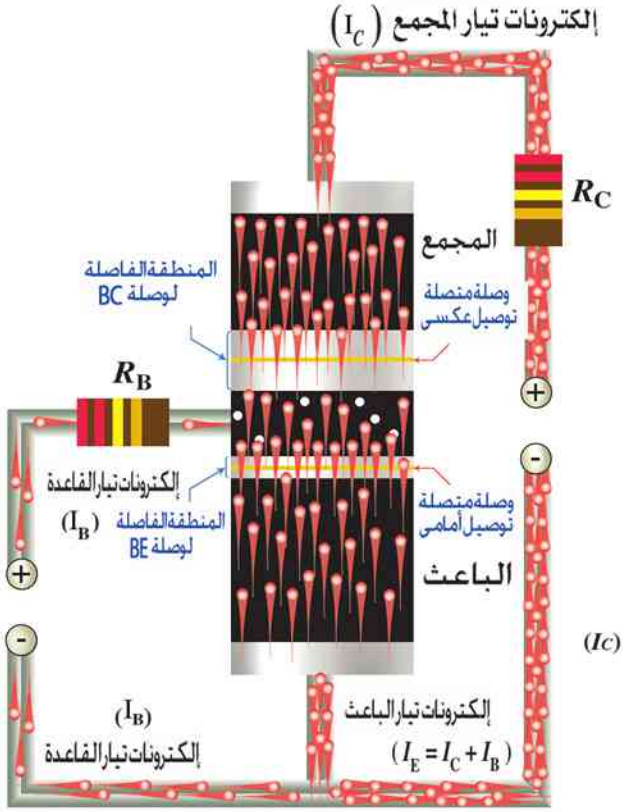
الترانزستور npn

ولأن عرض القاعدة صغير جدا فلا تفقد نسبة كبيرة من الفجوات فيها أى أن α_e قريبة من الواحد الصحيح، ولذلك فإن β_e كبيرة جدا. أى أن تيار المجمع أكبر من تيار القاعدة بنسبة β_e وتسمى نسبة تكبير التيار Current Gain. أى أنه إذا وضعت إشارة كهربية صغيرة signal (مثلا الخرج من ميكروفون) فى تيار القاعدة فإنه يظهر تأثيرها مكبراً فى تيار المجمع. وهذه هى الفكرة الأساسية فى عمل الترانزستور كمكبر Ampli-fier (شكل١٥ -١٧أ، ب)، وهذا ما يسمى فعل الترانزستور Transistor Action (شكل ١٥ -١٧).



(شكل ١٥ -١٧أ)

الترانزستور npn كمكبر (القاعدة مشتركة)



(شكل ١٥ -١٧ب)

الترانزستور npn كمكبر

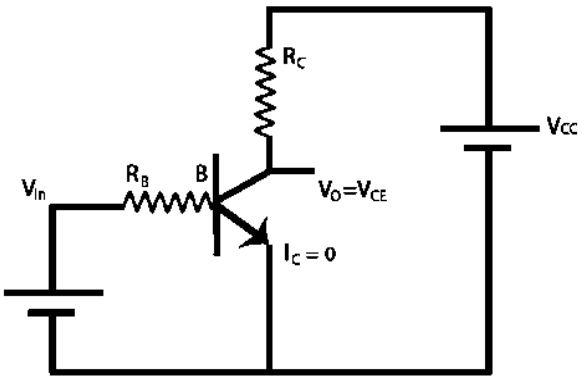
(الباعث مشترك)

الترانزستور كمفتاح Switch:

إذا اعتبرنا دائرة المجمع (شكل ١٥-١٨) فإن

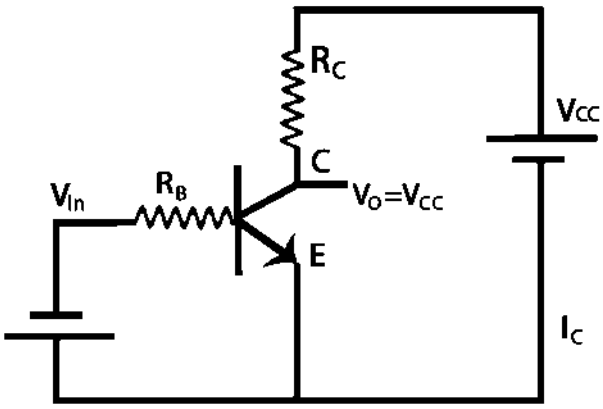
$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C \qquad (15\text{-}9)$$

حيث V_{CC} جهد البطارية و V_{CE} هو فرق الجهد بين المجمع والباعث و I_C هو تيار المجمع و R_C هى المقاومة الموجودة فى الدائرة. نجد أنه كلما زاد I_C فإن V_{CE} تقل، حتى تصل إلى أقل قيمة لها حوالى 0.2V عندما يكون تيار القاعدة كبيراً. أى أنه إذا اعتبرنا القاعدة هى الدخل Input والمجمع هو الخرج Output والباعث مشترك (متصل بجهده الأرضى) ، فإن سلوك الترانزستور يكون على النحو التالى: إذا كان الدخل كبيرا فإن الخرج صغير. وإذا كان الدخل صغيرا فإن الخرج كبير وتسمى هذه النبيطة «عاكس» Inverter. أى إذا أعطينا جهداً موجباً على القاعدة يسرى تيار فى المجمع بحيث يكون فرق الجهد على المجمع صغيرا . وبالعكس إذا كان فرق الجهد على القاعدة صغيراً أو سالبا ينقطع التيار فى المجمع ويصبح فرق الجهد على المجمع كبيراً، أى يكون الخرج كبيرا. وهكذا يستخدم الترانزستور كمفتاح Switch يوصل التيار أو لا يوصل التيار (شكل ٥ - ١٨). ويمكن الاستدلال على قطبية الترانزستور باستخدام أوميتر (كيف؟).



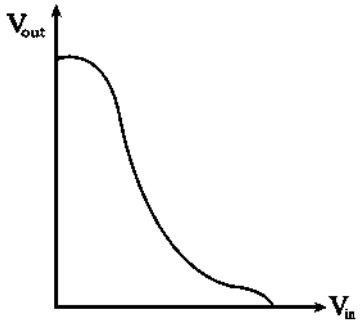
(شكل ١٥- ١٨أ)

الترانزستور npn كمفتاح فى حالة الفتح On



(شكل ١٥- ١٨ب)

الترانزستور npn كمفتاح فى حالة الإغلاق Off



(شكل ١٥- ١٨جـ)

خصائص العاكس

الإلكترونيات الرقمية Digital Electronics :

جميع الأجهزة الإلكترونية تتعامل مع الكميات الطبيعية وتحولها إلى إشارات كهربية. فمثلا الميكروفون يحول الصوت إلى إشارة كهربية. وكاميرا الفيديو تحول الصورة إلى إشارة كهربية. وكذلك فى التليفزيون تتحول الصورة والصوت إلى إشارة كهربية ثم إلى إشارة كهرومغناطيسية فى الإرسال، ثم تنتشر الموجة الكهرومغناطيسية. وعند الطرف المستقبل يتم تحويل الإشارة الكهرومغناطيسية إلى إشارة كهربية فى الهوائى (الإيريال) ثم إلى صوت وصورة فى جهاز الاستقبال. الإلكترونيات التى تتعامل مع الكميات الطبيعية كما هى تسمى إلكترونيات تناظرية Analog Electronics. ولكن ظهر نوع حديث من الإلكترونيات يسمى الإلكترونيات الرقمية Digital Electronics.

فى هذه الحالة فإن الإشارة الكهربية لا ترسل متصلة (أى تأخذ أى قيمة حسب حالتها) ولكنها تحول إلى شفرة Code أساسها قيمتان فقط هما 0 و 1 . مثلا إذا أردنا أن نعبر عن قيمة 3 نكتبها 11_2 حيث رقم 2 يرمز إلى النظام الثنائى (وليست هذه أحد عشر) ولكنها

$$3= 1 \times 2^0 + 1 \times 2^1$$

كما نكتب 17 مثلا فى النظام العشرى

$$17 = 7 \times 10^0 + 1 \times 10^1$$

كذلك نكتب أى عدد فى النظام الثنائى Binary فى خانات تقابل الآحاد و العشرات ولكنها تكون خانة 2^0 وخانة 2^1 وخانة 2^2... الخ. وهكذا يتم تشفير Coding كل عدد وكل حرف. ويتم تحويل كل الإشارات الكهربية المتصلة إلى إشارات رقمية عن طريق جهاز يسمى محول تناظرى رقمى Analog to Digital Converter. وفى الطرف المستقبل يتم التحويل العكسى من إشارة رقمية إلى إشارة تناظرية عن طريق محول رقمى تناظرى Digital to Analog Converter . ما الحكمة فى ذلك؟ توجد فى الطبيعة إشارات كهربية غير منتظمة وغير مفيدة تسمى الضوضاء الكهربية Electrical Noise مصدرها الحركة العشوائية للإلكترونات. فالإلكترونات شحنات إذا تحركت فإنها تسبب تيارا عشوائيا. هذه الإشارات العشوائية تسبب تداخلا فى الإشارات التى تحمل المعلومات وتشوشها. وكلنا نلاحظ ذلك مثلا فى محطة إذاعة ضعيفة أو فى محطة تليفزيون ضعيفة أو هوائى (إيريال) ضعيف، فتظهر نقاط بيضاء وسوداء على الشاشة. والضوضاء تضاف دائما إلى الإشارات التى تحمل المعلومات ويصعب التخلص منها. أما فى حالة الإلكترونيات الرقمية فإن المعلومة ليست فى قيمة الإشارة (التى قد تضاف الضوضاء إليها وتشوهها) ولكن المعلومة تكمن فى الشفرة أو الكود، هل لدينا 0 أو 1 ؟ ولا يهم إن كانت قيمة الجهد المخصص للحالة 0 أو الحالة 1 مضاف عليها ضوضاء. هذه هى الميزة الكبيرة للإلكترونيات الرقمية . ولذلك دخلت حياتنا فى العصر

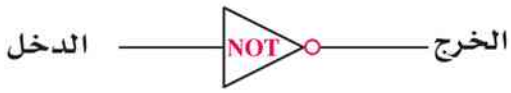
الحديث على نطاق واسع مثل التليفون المحمول والقنوات الفضائية الرقمية وأقراص الليزر المدمجة CD. ومما زاد من أهميتها اختراع الكمبيوتر المبنى على الإلكترونيات الرقمية . فكل ما يدخل إلى الكمبيوتر سواء أعداد أو حروف يتحول إلى شفرات ثنائية Binary Code . كذلك تجزأ الصور إلى عناصر صغيرة تسمى Pixels وتحول أيضا إلى شفرة. ويقوم الكمبيوتر بجميع العمليات الحسابية باستخدام الجبر الثنائى Boolean (Binary) Algebra. كما يقوم بتخزين المعلومات فى الذاكرة المؤقتة RAM أو الذاكرة المستديمة مثل القرص الصلب Hard Disk على شكل مغنطة فى اتجاه معين مما يعنى 0 و المغنطة فى اتجاه مضاد مما يعنى 1

البوابات المنطقية Logic Gates:

تعتمد كثير من التطبيقات الحديثة للإلكترونيات مثل دوائر الحاسب ووسائل الاتصالات الحديثة على عناصر رقمية من دوائر إلكترونية يطلق عليها البوابات المنطقية Logic Gates، وهى الدوائر التى تستطيع أن تقوم بعمليات منطقية مثل العكس أو التوافق أو الاختيار، وهى مبنية على الجبر الثنائى ـ أساس الإلكترونيات الرقمية ـ وأهمها:

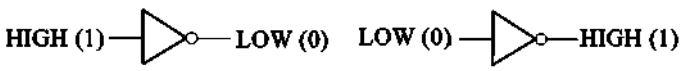
١- بوابة العاكس Inverter (NOT) لها مدخل واحد ومخرج واحد ويمكن تمثيل عملها كما فى شكل (١٥-١٩).

input	output
الدخل	الخرج
1	0
0	1



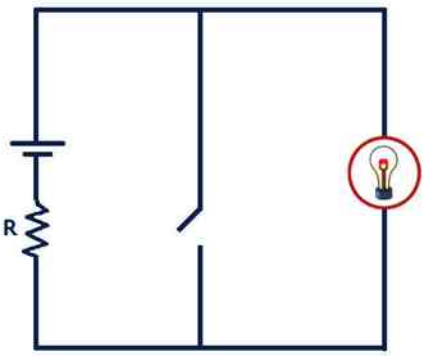
(شكل ١٥ - ١١٩)

رمز بوابة العاكس Not



(شكل ١٥ - ١٩ب)

حالات بوابة العاكس



(شكل ١٥ - ١٩جـ)

الرسم المكافىء لبوابة العاكس عند غلق المفتاح لا يضاء المصباح

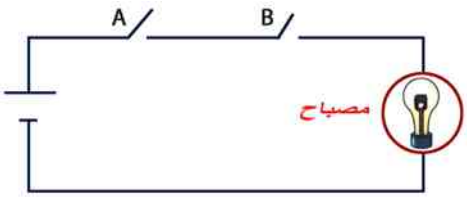
٢- بوابة التوافق AND: لها مدخلان أو أكثر ومخرج واحد ويمكن تمثيل عملها فى شكل (١٥-٢).

intout الدخل	output الخرج
00	0
01	0
10	0
11	1

أى لا يكون هناك خرج إلا إذا اتفق الدخلان على نفس قيمة 1، أى لابد من توافر شرطين (أو أكثر) معا ليكون هناك خرج 1، ويمكن تمثيلها بمفتاحين على التوالى لابد من غلقهما معا ليمر تيار ويضىء المصباح.

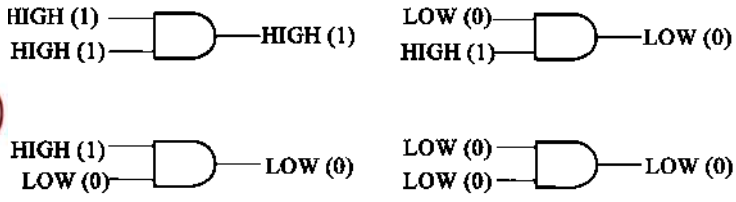
(شكل ١٥- ١٢٠)

رمز بوابة التوافق AND



(شكل ١٥- ٢٠جـ)

الرسم المكافىء لبوابة التوافق AND حيث لا يضىء المصباح إلا إذا أغلق المفتاحان معا



(شكل ١٥- ٢٠ب)

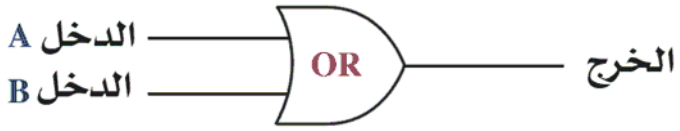
حالات بوابة التوافق

٣- بوابة الاختيار OR: لها مدخلان أو أكثر ومخرج واحدويمكن تمثيل عملها كما فى شكل (١٥-٢١)

intput الدخل	output الخرج
0	0
01	1
10	1
11	1

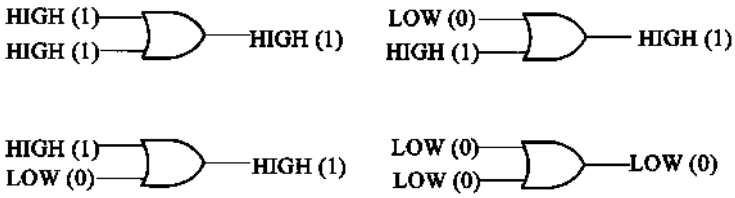
أى يلزم توافر أحد دخلين ليكون الخرج 1 ويمكن تمثيلها بمفتاحين على التوازى يكفى غلق أيهما ليمر تيار.

جميع العمليات التى يقوم بها الكمبيوتر مبنية على استخدام هذه البوابات وغيرها.



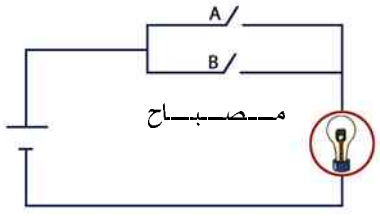
(شكل ١٥- ٢١أ)

رمز بوابة الاختيار OR



(شكل ١٥- ٢١ب)

حالات بوابة الاختيار OR

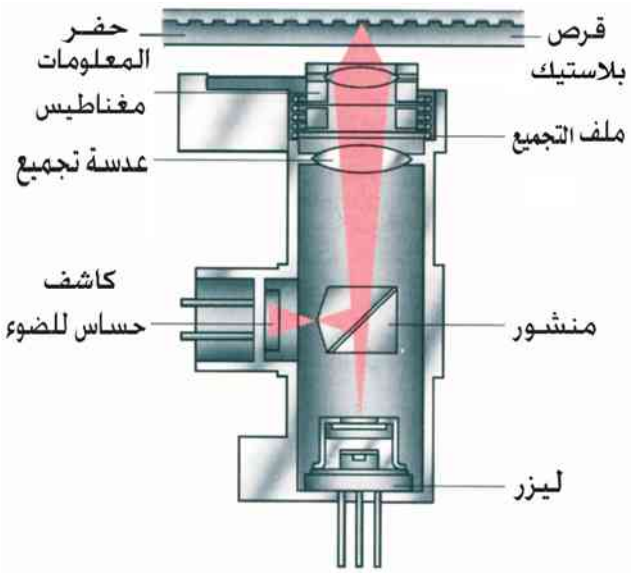


(شكل ١٥- ٢١جـ)

الرسم المكافىء لبوابة الاختيار OR حيث يضىء المصباح إذا أغلق أى من المفتاحين

ويمكن تنفيذ هذه البوابات باستخدام الترانزستور. فى هذه الحالة فإن الترانزستور لا ينظر إليه على أنه مكبر Amplifier بل على أنه مفتاح Switch . وهكذا يمكن أن نوظف الترانزستور على أنه عاكس(Inverter (NOT Gate أو أنه دائرة توافقية And Gate إذا

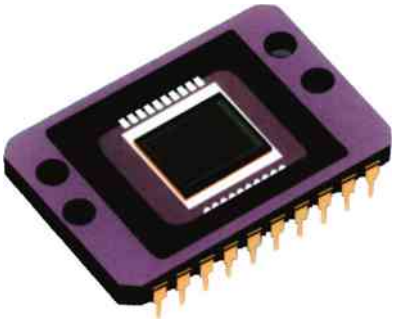
كان له أكثر من باعث، بحيث لا يوصل تيارا إلا إذا كان كل باعث عليه جهد موجب (أى 1). كذلك يمكن تصور الترانزستور على أنه بوابة اختيار OR Gate إذا كان لدينا زوج من الترانزستور على التوازى مثلا، بحيث يكفى أن يوصل أحدهما التيار اذا توافر 1 على أى من الدخلين فيكون الخرج1. كذلك يمكن استخدام الترانزستور فى صنع دوائر الذاكرة حيث يتم الاحتفاظ بالرقم 0 أو الرقم 1 إلى أن يزول التيار فى حالة الذاكرة المؤقتة RAM فيزول ماتم تخزينه . وإذا أردنا الاحتفاظ بالبيانات Data فتخزن على القرص الصلب Hard Disk ولا يتم محوها منه إلا بتعليمات من المستخدم. كذلك يتم الاحتفاظ بالمعلومات بصفة دائمة باستخدام الأقراص المدمجة CD، حيث يتم تسجيل الشفرات برموز 0 و1 بواسطة شعاع ليزر يحفر حفرة فى قرص بلاستيك ليرمز إلى 1 وعدم وجود حفرة يعنى 0. وتسمى هذه العملية الكتابة Write . ولاسترجاع المعلومات (أغنية أو فيلم) Read فإن قارئة الليزر CD Drive تقرأ ما سبق تسجيله بواسطة شعاع ليزر يستدل على 0 أو 1 التى تم تسجيلها من قبل (شكل ١٥-١٢٢أ). ولا تختلف فكرة DVD عن CD إلا بزيادة القدرة على التخزين . وقد ظهرت كاميرات تصور بالنظام الرقمى، حيث تتحول الصور إلى إشارات رقمية يتم تداولها وإرسالها قطعة قطعة Pixel by Pixel، فيتم تسجيلها على شريط صغير ممغنط ثم يتم تحميلها على الكمبيوتر (شكل ١٥- ٢٣). وهذه الكاميرات تستخدم وسيلة حديثة لتخزين ونقل الشحنات الكهربية تسمى CCD حتى يكون وزنها خفيفاً، وهى أساس كاميرات ومسجلات الفيديو المحمولة Camcorder وكذلك آلات الفاكس Fax وآلات التصوير فى التليفون المحمول الحديث والذى يمكنه نقل الصور عبر الإنترنت باستخدام خاصية بلوتوث Bluetooth.



(شكل ١٥- ١٢٢)

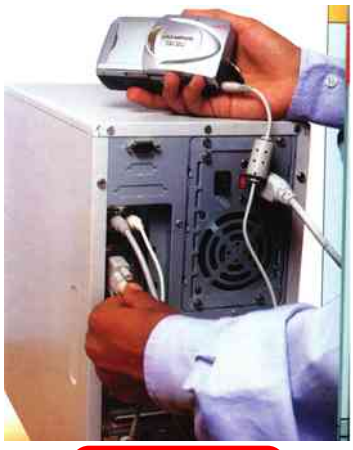
رسم تخطيطى لقارئة الليزر

(شكل ١٥- ٢٢ب)
الكاميرا الرقمية



(شكل ١٥- ٢٣جـ)
عنصر CCD

(شكل ١٥- ٢٣د)
تخزين البيانات على شريط ممغنط فى الكاميرا الرقمية

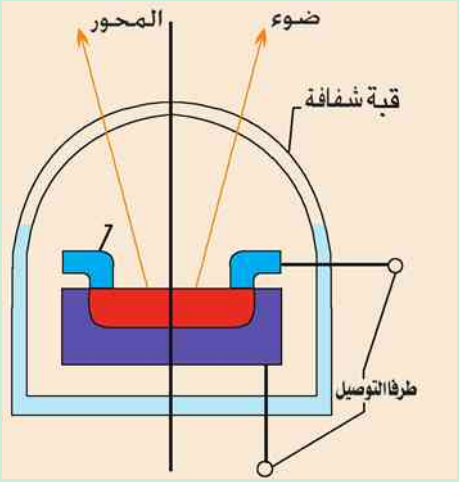


(شكل ١٥- ٢٣هـ)
التحميل على الكمبيوتر

معلومة إثرائية

الدايود الباعث للضوء LED

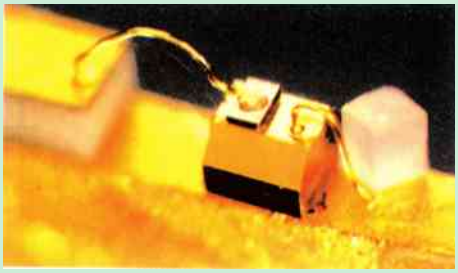
عندما يمر تيار فى وصلة ثنائية فإن الفجوات أو الإلكترونات التى تعبر إلى الجانب الآخر بفعل فرق الجهد الخارجى مصيرها إلى الزوال عن طريق عملية الالتئام Recombination. هذه العملية يصاحبها خروج ضوء علي هيئة فوتونات. ولذلك يمكن صنع مصباح من وصلة ثنائية تسمى الدايود الباعث للضوء



(شكل ١٥- ١٢٣)
الدايود الضوئى LED

Light Emitting Diode (LED) (شكل ١٥-٢٣ أ) ، ويستخدم في لوحات الإعلان والساعات وأجهزة القياس، كذلك يمكن تجميع هذا الضوء بتركيز معين وتحقيق شرط فعل الليزر Laser Action فيه، فنحصل على ليزر وصلة ثنائية Junction Laser (شكل ١٥-٢٣ب).

ويستخدم فى العمليات الجراحية والاتصالات باستخدام والألياف الضوئية Frberoptics وفى العمليات العسكرية مثل توجيه الصواريخ والرادار.



(شكل ١٥- ٢٣ب)

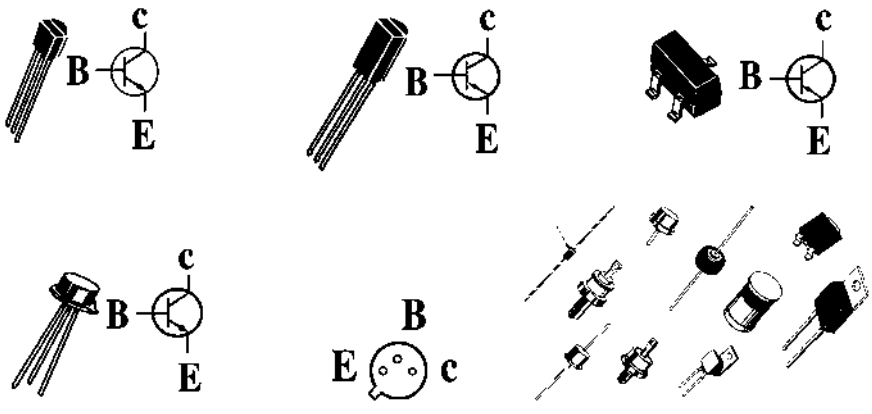
ليزر الوصلة الثنائية

الدوائر الإلكترونية:

يتكون أى نظام إلكترونى تناظرى أو رقمى من مكونات إلكترونية تشكل مساراً مغلقاً يسمى دائرة Circuit. والمكونات قد تكون غير فعالة Passive ، مثل المقاومة أو المكثف أو ملف الحث أو الدايود (شكل ١٥-٢٤ أ، ب، جـ)، أما المكونات الفعالة Active فهى أنواع الترانزستور المختلفة والتى لها إمكانية

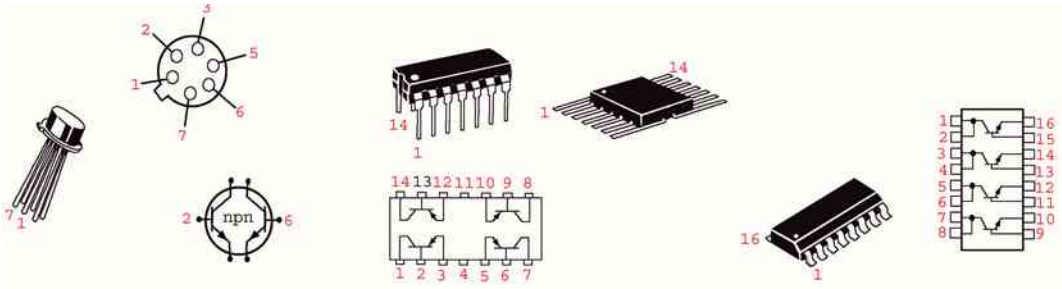
(شكل ١٥- ١٢٤)

مجموعة مقاومات



(شكل ١٥- ٢٤ب)

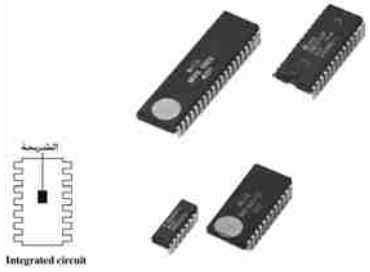
أشكال مختلفة للترانزستور والدايود



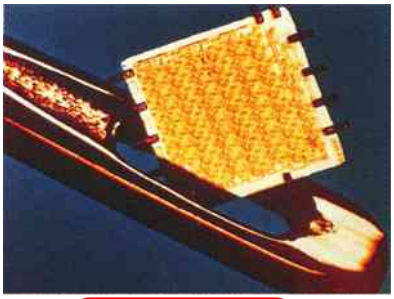
(شكل ١٥- ٢٤جـ)
ترانزستورات على شكل أزواج وأرباع

التكبير عند دمجها فى دوائر مناسبة. والدوائر التى نكونها من مكوناتها الأساسية المنفصلة تسمى دوائر منفصلة Discrete Circuits، حيث يتم لحامها أو توصيلها كل على حده (شكل ١٥ - ٢٤). بدأ عهد الدوائر المتكاملة فى ستينيات القرن العشرين عندما كانت أبحاث الفضاء على أشدها وكانت الحاجة ماسة إلى طريقة جديدة لتصنيع دوائر الكترونية صغيرة الحجم قليلة الوزن . فبدأ عهد الدوائر المتكاملة Integrated Circuits (IC's) أو الشرائح الرقيقة Microchips (شكل ١٥ - ٢٥). والفكرة الأساسية أن تجمع كل المكونات المطلوبة فوق شريحة جاهزة من السيليكون تحدد عليها أماكن تلك المكونات دون توصيلها منفصلة حسب وظيفة كل دائرة، فإذا أردنا مثلا أن نصنع دايود Pn، وكانت الشريحة التى بدأنا بها هى n-type، فالمطلوب إذا هو انتشار ذرات P-type كالبورون فى منطقة محددة من الشريحة. وهذا يسمى الانتشار الإنتقائى Selective Diffusion. ويسمى أيضا الانتشار المستوى Planar Diffusion (شكل ١٥ -٢٦).

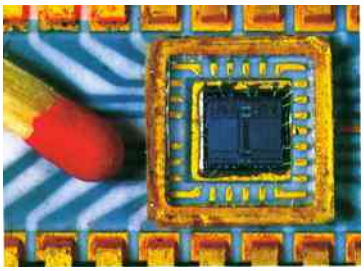
أما كيف يتم ذلك؛ فهى عملية كيميائية طويلة يستخدم فيها قناع Mask وضوء (حديثا أشعة ليزر)



(شكل ١٥- ٢٥أ)
أشكال لدوائر متكاملة



(شكل ١٥- ٢٥ب)
تفاصيل دائرة متكاملة

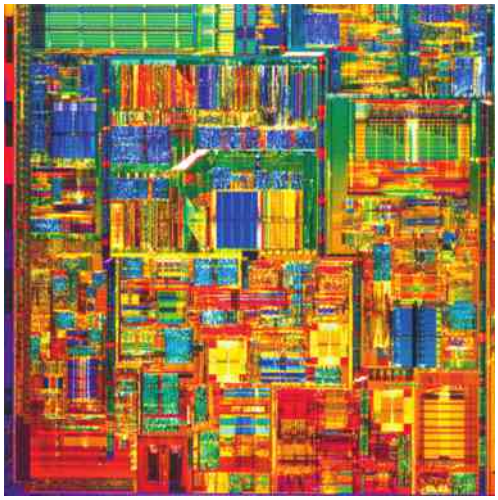


(شكل ١٥- ٢٥جـ)
دائرة مشغل دقيق Microprocessor
مقارنة بحجم رأس عود الثقاب

وهى عملية أشبه بالطباعة Photolithography (وتعنى حرفياً النقش على الحجر). فإذا أردنا تصنيع ترانزستور nPn مثلا ، فإننا نفتح من جديد ثغرة فى منطقة P التى سبق تكوينها وتسمح بانتشار ذرات n وهكذا إلى أن يكتمل الترانزستور nPn. والمدهش أن هذه العمليات كلها تتم على رقيقة Wafer من السيليكون، بحيث تكرر على نفس الرقيقة آلاف المرات فى وقت واحد ، ثم تقطع هذه الوحدات المتكررة إلى شرائح صغيرة Chips تحمل كل منها نفس المكونات بنفس المواصفات.

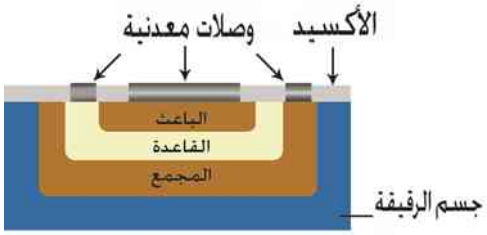
هذا الأسلوب ينتج دوائر إلكترونية قليلة التكلفة بسبب الإنتاج الكثيف Mass Production. فالتكلفة الحقيقية لهذه الصناعة هى فى إقامة المسابك (المصانع) Foundries وما بها من آلات معقدة تعمل بالروبوت وأجهزة الاختبار المعقدة وفى تصميم الدوائر أى فى الجهد الذهنى للمبرمجين، حيث يعتمد التصميم على برامج الكمبيوتر المتقدمة حين تصمم هذه الدوائر خصيصا حسب الطلب. أما الدوائر الشائعة وهى التى تستخدم كثيرا فلا تصمم كل مرة على حده، بل يطبع منها الملايين فتكون بذلك قليلة التكلفة للمستهلك. وأصبحت الدوائر المتكاملة هى أساس الإلكترونيات التناظرية والرقمية على حد سواء.

وبدلا من تكوين الدوائر المعقدة من مكوناتها الأولى أصبح تكوين أى نظام إلكترونى يتم من



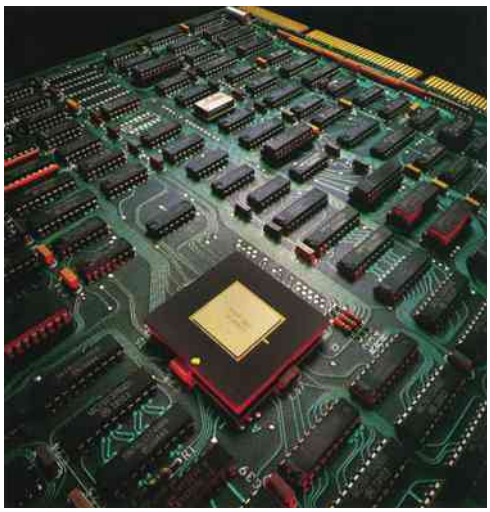
(شكل ١٥- ٢٥د)

دائرة بنتيام Pentium



(شكل ١٥- ٢٦)

الانتشار الانتقائي المستوى علي شريحة سيليكون



(شكل ١٥- ٢٧)

اللوحة الأم Motherboard للكمبيوتر

مكوناته المتكاملة على لوحة مطبوعة Printed Circuit Board (PCB). واللوحة الأساسية فى الكمبيوتر مثلا تسمى اللوحة الأم Motherboard (شكل ١٥ -٢٧) ، وهى تحتوى على المشغل Processor والذاكرة المؤقتة RAM ودوائر التحكم دوائر الحساب والمنطق Alu وغيرها. وقد دخلت الدوائر المتكاملة فى الطب فى جميع أجهزة القياس والتشخيص والعلاج. وفى المستقبل قد تدخل أيضا فى أجهزة ضبط دقات القلب Pacemakers وضبط الأنسولين بالجسم عن طريق وضع كبسولات دقيقة للغاية داخل الجسم نفسه تحتوى على مشغلات دقيقة. كل ذلك يصنع بالدوائر المتكاملة لتؤدى عملها من داخل الجسم.

التصغير إلى أين؟

عندما اخترع أول جهاز كمبيوتر فى خمسينيات القرن العشرين كانت إمكاناته ضعيفة جدا، وكان حجمه حجم طابق كامل فى مبنى وكان يعمل بالصمامات (Valves أو Vaccum Tubes). ثم تطورت التكنولوجيا إلى الترانزستور. ثم ظهرت الدوائر المتكاملة. وقد أدت إلى ظهور ما يسمى الحاسب الشخصى Personal Computer (PC) لأنه أتاح للأفراد اقتناء أجهزتهم الشخصية. ومن السبعينيات إلى الآن والكمبيوتر الشخصى فى تطور مستمر. يسعى هذا التطور إلى زيادة سرعة الكمبيوتر الشخصى وزيادة سعته وقدرته على التعامل مع حسابات أكثر تعقيدا فى زمن أقل. وفى نفس الوقت تقليل حجمه ووزنه، وأيضاً تقليل تكلفته. هذه المتطلبات كلها تبدو متعارضة، ولكنها تتحقق باستمرار وبمعدل نجاح عال جدا بفضل الاستخدام الأمثل لمفاهيم الفيزياء الحديثة وعلم المواد والكيمياء والليزر وللتقدم المستمر فى تكنولوجيا التصنيع ذاتها. حتى أنه شاع قانون ينص على أن السعة والسرعة يتضاعفان كل ثمانية عشر شهرا (يسمى قانون مور Moore's Law).

إذا أحتوت الشريحة (مساحة رأس الدبوس) على مائة ترانزستور سمى هذا التكامل الصغير Small Scale Integration (SSI).

وإذا كانت تحتوى على ألف ترانزستور سمى ذلك االتصغير التكامل المتوسط Medium Scale Integration (MSI)

وإذا كانت تحتوى على عشرة آلاف ترانزستور سمى ذلك التصغير التكامل الكبير Large Scale Integration (LSI)

وإذا كانت تحتوى على مائة ألف ترانزستور سمى ذلك التصغير التكامل متناهى الكبر Very Large Scale Integration (VLSI)

وإذا زاد عن ذلك سمى التكامل الفائق Ultra Large Scale Integration (ULSI)

هل يمكنك تصور مليون ترانزستور فى مساحة تعادل رأس دبوس؟ . ماذا وقد وصل العدد

حتى عام ٢٠٠٥ إلى ٣٠٠ مليون ترانزستور، ومرشح للزيادة!. وإذا استمر التصغير على هذا النحو فإلى أين نتجه ؟ ما يحدنا الآن هو حيود الضوء حيث تقترب الأبعاد الفيزيائية من الطول الموجى للضوء المستخدم λ، حيث تظهر ظاهرة الحيود عندما تكون المسافات مقاربة للطول الموجى. إننا وبسرعة فى الطريق إلى مستوى الذرة ذاتها، أى أن 0 و 1 تخزن على شكل الكترون فى أحد حالتين إما مستوى أرضى وآخر مستثار فى الذرة أو إلكترون يدور حول نفسه Spin فى اتجاه أو يدور فى عكس الاتجاه. ويسمى هذا العلم الكمبيوتر الكمى Quantum Computer، وهو الاتجاه المستقبلى الذى أصبح وشيكا على أرض الواقع، وهو يتمشى مع كل التطورات التى تحدث فى العلم الآن فى الاتجاه للبحث عن أدق التفاصيل فى الزمن وفى المسافة، وهو الذى أدى إلى ظهور التقنيات الحديثة مثل النانو Nano Technology والفيمتو Femto Technology.

معلومة إثرائية

الانتشار الانتقائى Selective Diffusion

كيف يمكن أن نجعل ذرات الفوسفور مثلا تنتشر فى منطقة صغيرة ولا تنتشر فى باقى الشريحة؟ يحدث ذلك فى عدة خطوات. أولا نغطى السليكون بطبقة من أكسيد السليكون ثم نستخدم قناعا Mask معدا بطريقة تشبه تحميض الأفلام. نغطى سطح السليكون بمادة حساسة للضوء Photoresist، ثم نضع قناعاً به مناطق معتمة ومناطق منفذه للضوء ونعرض السطح للأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet. تتميز هذه المادة الحساسة حين تتعرض لهذه الأشعة بأنها تتبلمر Polymerized، وفى المناطق التى لم تتعرض لهذه الأشعة تبقى سائلة.

ثم نرفع القناع ونستخدم حامض HCl الذى يتفاعل مع أكسيد السليكون SiO_2 فى المناطق التى تكون المادة الحساسة في صورة سائلة، فيفتح الحامض ثغرة فى الأكسيد. تسمى هذه العملية التآكل Etching، ثم يسمح بانتشار الفوسفور على السطح. يكون أكسيد السليكون حائلا دون انتشار ذرات الفوسفور فلا تنتشر إلا فى الثغرة المفتوحة، وهكذا فإن التصغير يعتمد على دقة تصنيع القناع. ومن ثم أصبح الليزر الآن هو المستخدم فى صنع القناع. ولمزيد من التصغير أمكن حديثاً استخدام شعاع إلكترونى E-Beam أو شعاع جزيئى Molecular Beam للحفر على السليكون مباشرة، حيث تكون λ أقل من الطول الموجى للضوء (لماذا)؟. ولكن هذه الطريقة لا تستخدم على نطاق واسع وتصلح للدوائر الخاصة فقط.

تلخيص

- بلورة المعدن تتكون من أيونات موجبة وسحابة من الإلكترونات الحرة التى تسبح فى أنحاء البلورة فى حركة عشوائية. وتوجد قوة تجاذب بين هذه الايونات والسحابة. ولكن محصلة قوى التجاذب على كل إلكترون حر فى المعدن صفر . وإذا حاول الإلكترون الخروج من سطح المعدن ، فإن قوى التجاذب المحصلة تجذبه إلى الداخل.
- بلورة السليكون (شبه موصل) النقى تتكون من ذرات تربطها روابط تكافؤية. وفى درجات الحرارة المنخفضة لا توجد أى إلكترونات حرة. أما إذا زادت درجة الحرارة فإن بعض هذه الروابط تنكسر ، فتتحرر منها الإلكترونات وتظهر فجوات. وكل من الإلكترونات والفجوات تتحرك حركة عشوائية.
- عدد الروابط المكسورة يزداد مع درجة الحرارة، ويمكن أن يزداد مع مؤثر خارجى مثل الضوء ، بشرط أن تكون طاقة الفوتون كافية لكسر الرابطة.
- يمكن أن يزداد عدد الإلكترونات الحرة عن عدد الفجوات بإضافة شوائب n-type ، والعكس بإضافة شوائب p-type.
- تعتمد توصيلية شبه الموصل على تركيز الإلكترونات الحرة والفجوات ، أى أن شبه الموصل يحتوى على حاملين للتيار، بينما المعدن به حامل واحد للتيار هو الإلكترونات، وعددها فى المعدن ثابت لا يتغير مع درجة الحرارة.
- تتميز أشباه الموصلات بحساسيتها الشديدة للبيئة المحيطة. ولذا يمكن استخدامها كمحسات Sensors للضوء والحرارة والضغط والرطوبة والتلوث الكيميائى والذرى وغيره.
- يتكون الدايود أو الوصلة الثنائية Pn Junction من منطقة p-type وأخرى n-type. وإذا وصل الطرف الموجب للبطارية إلى p-type والسالب إلى n-type يعرف هذا بالتوصيل الأمامى ، ويسبب ذلك تياراً أمامياً. أما إذا عكسنا توصيل البطارية فلا يسرى تيار. ولذلك يستخدم الدايود فى تقويم التيار المتردد Rectification.
- يتكون الترانزستور من pnp أو npn ، ويستخدم للتكبير ، حيث أن نسبة تيار المجمع إلى تيار القاعدة β_e كبيرة . ولذلك فأى تغير صغير فى تيار القاعدة يظهر تأثيره مكبرا فى المجمع.

- يستخدم الترانزستور أيضا كمفتاح، حيث يستخدم فى الدوائر المنطقية مثل العاكس Inverter(NOT) وبوابة التوافق AND وبوابة الاختيار OR وغيرها.
- الإلكترونيات الرقمية تتفوق على الإلكترونيات التناظرية لتغلبها على الضوضاء الكهربية Noise. وأساسها تشفير المعلومات بطريقة 1 و 0.
- الدوائر المتكاملة تتميز بصغر الحجم والوزن وزيادة السرعات والسعة وقلة التكلفة وهى السبب فى انتشار الكمبيوتر الشخصى. ومازال التصغير مستمرا.

أسئلة وتمارين

أولا: التمارين

١- احسب عدد ذرات السيليكون لكل $1cm^3$. إذا كان كثافة السليكون $2.33\ g/cm^3$ والوزن الذرى له 28

$(0.5x10^{23}cm^{-3})$

٢- إذا كان تركيز الإلكترونات أو الفجوات فى السيليكون النقى $1x10^{10}cm^{-3}$ أضيف إليه فوسفور بتركيز $10^{12}cm^{-3}$

احسب تركيز الإلكترونات والفجوات فى هذه الحالة.

$(n=10^{12}\ cm^{-3} \quad p=10^{8}cm^{-3})$

هل السيليكون يصبح n-type أو p-type ؟

(السيليكون فى هذه الحالة يصبح n-type)

٣- احسب تركيز الألومنيوم المطلوب اضافته حتى يعود السيليكون نقياً مرة أخرى.

$(N_A=10^{12}cm^{-3})$

٤- ترانزستور له $\alpha_e = 0.99$ احسب β_e. ثم احسب تيار المجمع إذا كان تيار القاعدة $100\ \mu A$

$(\beta_e=99\ ,\ I_C=99x10^{-4}A)$

٥- إذا كانت الإشارة الكهربية فى قاعدة الترانزستور $200\ \mu A$ ومطلوب أن يكون تيار المجمع $10\ mA$ أحسب β_e ثم α_e.

$(\beta =50\ ,\ \alpha=0.98)$

٦- دايود يمكن تمثيله بمقاومة في الاتجاه الأمامى $100\ \Omega$ وفى الاتجاه العكسى مالا نهاية. وضعنا عليه فرق جهد $5V$ + ثم عكسناه إلى $5V$ - ماذا يكون التيار فى كل حالة؟

$(50mA, O)$

٧- إذا كان $1mm^2$ يحتوى على مليون ترانزستور، احسب المساحة المخصصة لكل ترانزستور. $(10^{-12}\ m^2)$

ثانيا: أسئلة المقال

١- اشرح أهمية الإلكترونات الرقمية ، وأذكر خمسة تطبيقات هامة لها.

٢- استنتج جدول التحقق لدائرة AND يتلوها دائرة عاكس.

٣- استنتج جدول تحقق لدائرة OR يتلوها دائرة عاكس.

(١) سلك معدنى مشدود بين دعامتين رأسيتين ثابتتين. هل تتأثر سرعة انتشار موجة مستعرضة فيه بتغير درجة حرارة الوسط المحيط ؟

(٢) خيطان متماثلان مثبت أحد طرفى كل منهما فى الحائط بينما يشد الطرف الآخر بواسطة شخص، فإذا أرسلت نبضة مستعرضة فى أحد الخيطين ثم بعد فترة وجيزة أرسلت نبضة أخرى مستعرضة فى الخيط الآخر. وضح مع التعليل هل يمكن عمل شىء بحيث تلحق النبضة الثانية بالأولى فى نفس الاتجاه؟

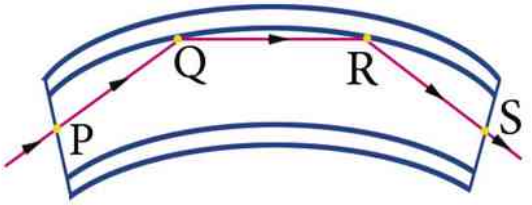
(٣) علل : يسهل رؤية صورتك المنعكسة على زجاج نافذة حجرة مضيئة ليلاً عندما يكون خارج الحجرة ظلام شديد. فى حين يصعب تحقيق ذلك نهاراً عندما يكون خارج الحجرة مضيئاً.

(٤) سقط شعاعان ضوئيان بحيث يلتقيان فى نقطة على حائل رأسى. وضع لوح زجاجى رأسى موازٍ للحائل يعترض مسار الشعاعين. هل يظل موضع نقطة تقابل الشعاعين على الحائل كما هو أم يتغير ، مع التعليل؟

(٥) فسر ما يلى مع التعليل:

- عند وضع مصدر ضوئى أزرق اللون فى مركز مكعب مصمت من الزجاج - يواجه كل وجه من أوجهه الجانبية حائل أبيض- ظهرت بقعة مضيئة دائرية على كل حائل، وعند استبدال مصدر الضوء الأزرق بآخر أحمر اللون تغير شكل البقعة المضيئة على الحائل من الشكل الدائرى إلى شكل المربع.

(٦) الشكل التالى يوضح ليفة ضوئية زجاجية مغطاة بطبقة خارجية من نوع من الزجاج معامل انكساره أقل من زجاج القلب، فإذا كانت هذه الليفة يمر بها شعاع ضوئى كما هو موضح بالشكل.

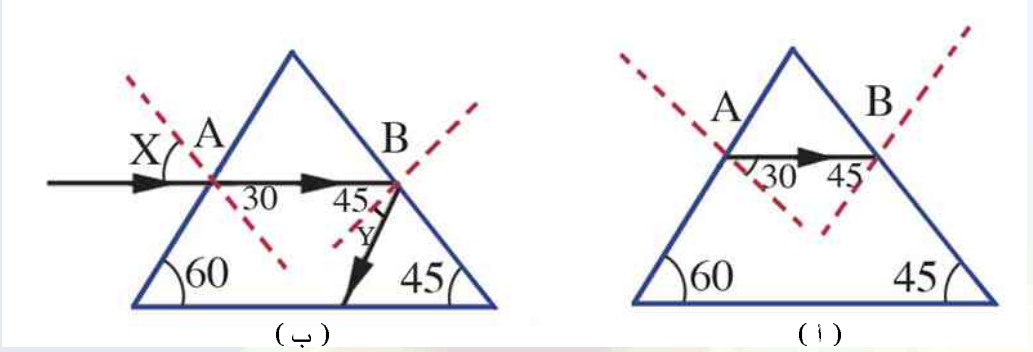


١) اشرح لماذا لم يتغير اتجاه شعاع الضوء عند كلاً من S,P ؟

٢) اشرح لماذا حدث للشعاع الضوئى انعكاس كلى عند Q , R ؟

٣) اشرح لماذا تفضل الليفة الضوئية المكونة من طبقتين، كما بالرسم عن تلك التى تتكون من طبقة واحدة؟

(٧) اعطى مدرس تلميذه الشكل التالى (أ) والذى يوضح مسار شعاع ضوئى من A إلى B خلال منشور زجاجى وكانت الزاوية الحرجة فى الزجاج تساوى 42° وطلب من التلميذ أن يرسم مسار الشعاع قبل أن يصل إلى A وبعد أن يترك B . الشكل (ب) يمثل محاولة التلميذ ولكن المدرس اوضح أن الزاوية x,y غير صحيحة. اقترح بدون حسابات التغيير اللازم عمله لتصحيح الزاوية x والزاوية y. علل لما تقول.



(٨) إذا تغيرت قوة الشد فى وتر مشدود من 70 N إلى 80 N مع عدم تغير طوله فاحسب النسبة بين ترددية الأساسين نتيجة هذا التغير.

(٩) وتر طوله 0.06 m وكتلته 2.5×10^{-3}kg مشدود بقوة مقدارها 400 N إحسب تردد النغمة التى يصدرها هذا الوتر إذا كان يهتز على هيئة ثلاثة قطاعات.

(١٠) فى منشور ثلاثى زاوية رأسه 60° ومعامل انكسار مادته $\sqrt{2}$ احسب قيمة زاوية الانحراف والسقوط فى وضع النهاية الصغرى .

(١١) سقط ضوء احادى اللون طول موجته 66×10^{-8}m على شق مزدوج وكانت المسافة بين مركزى الفتحتين المستطيلتين 11×10^{-4}m والمسافة الفاصلة بين الحائل والشق المزدوج 5m احسب المسافة بين مركزى هدبتين متتاليتين من نفس النوع.

(١٢) وصل خرطوم من المطاط بفوهة صنبور ينساب منه الماء انسيابًا هادئًا. فسر لماذا تقل مساحة مقطع عمود الماء المنساب من الخرطوم عندما توجه فوهته رأسيًا لأسفل. بينما تزداد مساحة مقطعه عندما توجه فوهته رأسيا لأعلى.

(١٣) ربط بالون مملوء بالهواء بقاع حوض من الزجاج، ثم ملىء الحوض بالماء حتى غمر البالون بالكامل. بفرض أن الحوض بمحتوياته انتقل من سطح الأرض إلى سطح القمر، ناقش مع التعليل هل يطرأ على البالون أى نوع من التغيير؟

(١٤) علقت كرة جوفاء من النحاس أسفل سطح الماء فى إناء، وضح مع التعليل ماذا يحدث لوضع الكرة فى الإناء إذا انتقل الإناء بأكمله من سطح الأرض إلى سطح القمر؟

(١٥) أكد صحة أو خطأ العبارة التالية مع تصحيح ما بها من خطأ إن وجد:

عندما يغوص شخص فى حمام سباحة قرب القاع يزداد كل من قوة الدفع والضغط المؤثرين عليه.

(١٦) وضع مكعب من الثلج فى كأس زجاجى ثم ملىء الكأس إلى حافته بالماء. ناقش مع التعليل فى ضوء قاعدة أرشميدس ما يحدث من تغيرات عندما ينصهر الثلج الموجود بالكأس.

(١٧) وضع كأس عميق مملوء لحافته بالماء على ميزان ثم غمر فيه جسم معلق بخيط طويل بحيث لا يلامس قاع الكأس. فأزاح حجماً من الماء لأعلى وانسكب خارج الكأس بحيث ظل سطح الماء عند الحافة. فإذا جفف الماء المنسكب، قارن بين قراءة الميزان قبل غمر الجسم وبعده فى حالة ما إذا كان الجسم مصنوع من الخشب مرة ومن الحديد مرة أخرى علماً بأن كثافة الماء $1000kg/m^3$ كثافة الحديد $7860\ kg/m^3$ كثافة الخشب $550\ kg/m^3$.

(١٨) اذكر الشروط الواجب توافرها ليكون سريان سائل داخل انبوبة سرياناً مستقراً (هادئا). ثم اثبت أنه فى هذه الحالة تتناسب سرعة سريان السائل عند أى نقطة تناسباً عكسياً مع مساحة مقطع الأنبوبة عند تلك النقطة.

(١٩) شريان رئيسى نصف قطره 0.5 cm وسرعة سريان الدم فيه 0.4 m/s يتشعب إلى عدة شعيرات نصف قطر كل منها 0.2 cm وسرعة سريان الدم فيها 0.25 m/s أوجد عدد هذه الشعيرات ؟

(٢٠) انبوبة ذات شعبتين مساحة مقطع أحد فرعيها ضعف الآخر وضع فيها قدر مناسب من الماء ثم صب كمية من الزيت فى الفرع المتسع حتى انخفض سطح الماء به 0.5cm احسب ارتفاع عمود الزيت بهذا الفرع إذا علمت أن كثافة الماء $1000kgm^{-3}$ وكثافة الزيت $800kgm^{-3}$.

(٢١) مكبس مائى مساحة مقطع مكبسه الصغير $4x10^{-4}\ m^2$ تؤثر عليه قوة قدرها 200 N ومساحة مقطع مكبسه الكبير $20 \times 10^{-4}m^2$ احسب مقدار الكتلة اللازم وضعها فوق المكبس الكبير حتى يتزن فى مستوى افقى مع المكبس الصغير، علماً بأن عجلة الجاذبية الأرضية $10ms^{-2}$.

(٢٢) ماهى أقل مساحة لطبقة من الجليد سمكها 5cm تطفو فوق سطح ماء أحد الأنهار تسمح لهذه الطبقة بحمل سيارة كتلتها 16×10^3kg، علماً بأن كثافة الماء $1000kg/m^3$ وكثافة الجليد $920\ kg/m^3$.

(٢٣) كرة من الفلين حجمها $5 \times 10^{-3}\ m^3$ وضعت فى ماء كثافته $1000kg/m^3$ فغاص $\frac{2}{5}$ حجمها. احسب كثافة الفلين. ثم احسب القوة اللازم التأثير بها على الكرة حتى ينغمر حجمها بالكامل تحت سطح الماء.

(٢٤) وضح كيف يفسر تأثير فاندرڤال تحويل الغازات إلى حالة السيولة؟

(٢٥) علل: يظهر تأثير فاندرڤال على الغاز فى درجات الحرارة المنخفضة بصورة واضحة؟

(٢٦) تحيد الغازات عن سلوك الغاز المثالى كلما زادت كثافتها. ناقش هذه العبارة موضحًا السبب.

(٢٧) ما هو الأساس العلمى لتصميم قارورة ديوار؟

(٢٨) علل: يفضل الهليوم المسال عن غيره كمادة مبردة؟

(٢٩) قارن بين خصائص كل من التغير الأديباتيكي والتغير الأيزوثرمى للغازات؟

(٣٠) ما المقصود بدرجة الحرارة الانتقالية للفلز؟

(٣١) علل: يستخدم ملفات من مواد فائقة التوصيل فى صناعة القطار الطائر؟

(٣٢) علل يستخدم مواد فائقة التوصيل فى صناعة هوائى الأقمار الصناعية؟

(٣٣) علل: لا تظهر ظاهرة مايسنر إلا فى المواد فائقة التوصيل؟

(٣٤) بفرض أن الذرات فى وعاء مملوء بغاز الهليوم لها نفس السرعة المتوسطة الانتقالية للذرات فى وعاء مملوء بغاز الأرجون. أى من الغازين له درجة حرارة أعلى ولماذا؟

(٣٥) احسب متوسط طاقة الحركة لإلكترون حر عند درجة حرارة تساوى $300^{\circ}K$ وجذر متوسط سرعته، إذا كان ثابت بولتزمان $1.38 \times 10^{-23} J/^{\circ}K$ وكتلة الالكترون $9.1 \times 10^{-31} kg$.

(٣٦) كمية من غاز مثالى كتلتها $0.8 \times 10^{-3} kg$ تشغل حجماً قدره $0.285 \times 10^{-3} m^3$ عند درجة $12^{\circ}C$ تحت ضغط $10^5 N/m^2$ احسب الكتلة الجزيئية لهذا الغاز، علماً بإن الثابت العام للغازات $8.31 J/K$.

(٣٧) احسب متوسط طاقة حركة جزىء الاكسجين فى درجة $50^{\circ}C$، علماً بأن ثابت بولتزمان $1.38 \times 10^{-23} J/^{\circ}K$.

(٣٨) إذا كانت درجة الحرارة عند سطح الشمس $6000^{\circ}K$ فاحسب جذر متوسط مربع سرعة جزيئات غاز الهيدروجين عند سطح الشمس، علماً بأن الهيدروجين فى الحالة الذرية ووزنه الذرى 1 وعدد أفوجادرو 6.02×10^{23} وثابت بولتزمان $1.38 \times 10^{-23} J/^{\circ}K$.

(٣٩) علل: تزداد كفاءة البطارية كلما قلت مقاومتها الداخلية؟

(٤٠) فى الدوائر الكهربية المتصلة على التوازى تستخدم أسلاك سميكة عند طرفى البطارية، بينما يستخدم أسلاك أقل سمكاً عند طرفى كل مقاومة فى الدائرة؟

(٤١) ما المقصود بكل من:

- القيمة الفعالة للتيار المتردد.
- التيارات الدوامية.
- حساسية الجلفانومتر.
- كفاءة المحول.

(٤٢) ما هى الفكرة العلمية التى يبنى عليها عمل كل من:

- الجلفانومتر الحساس - المحول الكهربى - مجزىء التيار فى الأميتر - المقاومة المضاعفة للجهد فى الفولتميتر

(٤٣) علل : يعتبر المحول الخافض للجهد رافعاً للتيار بينما المحول الرافع للتيار خافضاً للجهد؟

(٤٤) يوجد فى المحولات ثلاث نقاط أساسية يتم مراعاتها عند التصميم لتقليل الفقد فى الطاقة الكهربية. ما هى هذه النقاط وما دورها فى فقد الطاقة؟

(٤٥) لا تتولد التيارات الدوامية فى الكتل المعدنية إلا إذا كان المجال المغناطيسى المؤثر عليها متغير الشدة؟

(٤٦) قارن بين دينامو التيار المتردد ودينامو التيار موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريباً.

(٤٧) علل : لزيادة قدرة الموتور تم استخدام عدة ملفات بينها زوايا صغيرة.

(٤٨) أدمجت أطوال مختلفة من سلك مساحة مقطعه $0.1\ cm^2$ فى دائرة كهربية لايجاد مقاومة كل منها فكانت النتائج كالآتى:

الطول ع بالمتر	2	4	6	10	14	16
المقاومة R اوم	5	10	15	25	35	40

ارسم علاقة بيانية بين الطول (ع) على المحور السينى ومقاومة السلك (R) على المحور الصادى ومن الرسم البيانى اوجد:

١) مقاومة جزء من هذا السلك طوله 12 m.

٢) المقاومة النوعية لمادة السلك.

٣) التوصيلية الكهربية لمادة السلك.

(٤٩) سلك طوله 30m ومساحة مقطعه $0.3\ cm^2$ وصل على التوالى مع مصدر تيار مستمر وأميتر - تم قياس فرق الجهد بين طرفى السلك بواسطة فولتميتر فكان 0.8 V - فإذا كانت شدة التيار المار فى السلك 2A - احسب التوصيلية الكهربية للسلك؟

(٥٠) ملف مستطيل الشكل عدد لفاته (N) Turn لفة ومساحة سطحه ($A\ (m^2)$) وضع بحيث كان مستواه موازياً لخطوط الفيض الناشئة عن مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه (B) Tesla. بدأ الملف فى الدوران من هذا الوضع بسرعة زاوية ثابتة مقدارها ω حتى أتم نصف دوره وضح

بالرسم فقط (دون شرح) كيف تتغير قيمة القوة الدافعة الكهربية المتولدة بالتأثير مع زاوية الدوران خلال هذه النصف دورة فقط، وما أقصى قيمة للقوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى هذا الملف؟

(٥١) جلفانومتر مقاومة ملفه 40 Ω يقيس شدة تيار أقصاها 20mA أوجد مقاومة مجزئ التيار اللازمة لتحويله إلى أميتر يقيس شدة تيار أقصاها 100mA، وإذا وصل ملف الجلفانومتر بمضاعف جهد مقاومته 210 Ω احسب أقصى فرق جهد يمكن قياسه؟

(٥٢) قارن بين كل من :

- المحول الرافع والمحول الخافض من حيث الغرض منه وعدد لفات الملف الثانوى.
- الدينامو والموتور من حيث استخداماته.

(٥٣) لماذا يتم نقل الكهرباء خلال الأسلاك من محطات توليد الكهرباء تحت فرق جهد عال؟ اختر الاجابة الصحيحة مع التعليل.

١) حتى نتمكن من استخدام المحولات.

٢) حتى نتأكد من أن التيار الكهربى سوف يمر لمسافة كبيرة.

٣) لتقليل الفاقد فى الطاقة الكهربية.

٤) لتقليل مقاومة الأسلاك.

(٥٤) ما المقصود بكل من :

١) معامل الحث المتبادل بين ملفين = 2 H .

٢) كفاءة المحول = 90%.

٣) التيارات الدوامية.

٤) القيمة الفعالة لشدة التيار المتردد = 2A.

(٥٥) محول كهربى خافض ذو كفاءة 100% يراد استخدامه لتشغيل مصباح كهربى قدرته 24 W ويعمل على فرق جهد 12 V باستخدام منبع كهربى قوته 240 V فإذا كانت عدد لفات الملف الثانوى 480 لفة. احسب :

١) شدة التيار المار فى الملفين الابتدائى والثانوى.

٢) عدد لفات الملف الابتدائى.

(٥٦) عند مرور تيار كهربى فى سلك وضع عمودياً على مجال مغناطيسى منتظم فإن السلك يتأثر بقوة أى من الأجهزة التالية يبنى عمله على هذا التأثير:

١) المغناطيس الكهربى. ٢) المحرك الكهربى.

٣) المولد الكهربى. ٤) المحول الكهربى.

(٥٧) احسب القوة الدافعة الكهربية لمصدر إذا كان الشغل المبذول لنقل 5C هو 100 J.

(٥٨) وصلت ثلاثة مقاومات 10Ω , 20Ω , 30Ω بمصدر كهربى فمر تيار شدته 0.15A , 0.2A , 0.05A فى المقاومات على الترتيب احسب قيمة المقاومة المكافئة للدائرة مع توضيح طريقة التوصيل بالرسم.

(٥٩) مصدر كهربى قوته الدافعه الكهربية 130V وصل على التوالى مع مقاومتان , 400Ω 300Ω قارن بين قراءتى فولتميتر مقاومته 200Ω إذا وصل بين طرفى كل مقاومة على حدة (مع إهمال المقاومة الداخلية للعمود).

(٦٠) سلك طوله 2m ومساحة مقطعه $0.1m^2$ وصل بمصدر قوته الدافعه 10V فمر به تيار شدته 2A احسب المقاومة النوعية والتوصيلية الكهربية لمادته.

(٦١) سلكان من النحاس طول أحدهما 10m وكتلته 0.1 kg وطول الآخر 40m وكتلته 0.2kg قارن بين مقاومتهما.

(٦٢) سلك منتظم المقطع يمر به تيار شدته 0.1A عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1.2V فإذا جعل السلك على شكل مربع مغلق abcd احسب المقاومة المكافئة للسلك إذا وصل المصدر بالنقطتين a,c وإذا وصل المصدر مرة آخرى بالنقطتين a,d.

(٦٣) تتصل محطة لتوليد الكهرباء بمصنع يبعد عنها مسافة 2.5km بسلكين فإذا كان فرق الجهد بين طرفى السلكين عند المحطة 240V وبين الطرفين عند المصنع 220V وكان المصنع يستخدم تياراً شدته 80A إحسب مقاومة المتر الواحد من السلك ونصف قطره إذا علمت أن

المقاومة النوعية لمادة السلك $1.57 \times 10^{-8} \Omega.m$.

(٦٤) بطارية سيارة قوتها الدافعة الكهربية 12V ومقاومتها الداخلية 0.5Ω. احسب النسبة المئوية لفرق الجهد المفقود من هذه البطارية عند استخدامها فى إضاءة مصباح مقاومته 2Ω.

(٦٥) عين كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة فى الهواء على بعد 0.1m من سلك مستقيم طويل يمر به تيار شدته 10A، علماً بأن معامل نفاذية الهواء $4\pi \times 10^{-7}$ Web/Am .

(٦٦) سلكان مستقيمان متوازيان يمر فى الأول تيار شدته 10A وفى الثانى تيار شدته 5A. احسب كثافة الفيض المغناطيسى الكلى عند نقطة بين السلكين تبعد عن الأول 0.1m وعن الثانى 0.2m عندما يكون التيار فى السلكين فى نفس الاتجاه مرة وفى اتجاهين متضادين مرة أخرى.

(٦٧) سلك مستقيم لف على شكل ملف دائرى لفه واحدة وأمر به تيار كهربى فإذا لف السلك نفسه مرة أخرى على شكل ملف دائرى من أربع لفات ومر به نفس التيار، قارن بين كثافتى الفيض عند مركز الملف فى كل من الحالتين.

(٦٨) ملف حلزونى طوله 0.22m ومساحة مقطعة $25 \times 10^{-4} m^2$ يحتوى على 300 لفة. ما هى شدة التيار اللازم إمراره بالملف لتكون كثافة الفيض عند منتصف محوره $1.2 \times 10^{-3} Web/m^2$؟ وكم يكون الفيض الكلى الذى يمر بالملف ؟

(٦٩) تيار كهربى شدته 20A يمر فى سلك مستقيم طوله 10cm فإذا وضع السلك فى مجال كثافة فيضه 2×10^{-3} Web/m^2 بحيث يصنع زاوية قدرها 30° مع اتجاه المجال. احسب القوة المؤثرة على السلك.

(٧٠) ملف مستطيل طوله 30 cm وعرضه 20 cm يتكون من 10 لفات يمر به تيار شدته 3A وضع فى مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه 0.1 Tesla. احسب عزم الازدواج المؤثر عليه عندما يكون مستوى الملف يصنع زاوية 50° مع اتجاه المجال.

(٧١) ملف دائرى عدد لفاته 100 لفة وشدة التيار المار به 10A وضع فى مجال مغناطيسى

كثافة فيضه 0.2 Tesla فإذا كانت مساحة مقطع الملف $0.3\ m^2$. احسب النهاية العظمى لعزم الازدواج المؤثر على الملف محددًا وضع الملف بالنسبة للمجال فى هذه الحالة.

(٧٢) جلفانومتر ذو ملف متحرك عند مرور تيار فيه شدته له 30mA كانت الزاوية بين الملف وا لمجال 60° احسب حساسية الجلفانومتر.

(٧٣) جلفانومتر مقاومة ملفه 5Ω يقيس تيار أقصى شدة له 20mA احسب أقصى تيار يمكن أن يقيسه إذا وصل بمجزئ تيار مقاومته 0.1Ω ، ثم احسب مقدار مضاعف الجهد الذى يوصل بالجلفانومتر ليعمل كفولتميتر يقيس فرق جهد قدره 5V .

(٧٤) مجزئ تيار مقاومته 0.1Ω ينقص حساسية أميتر إلى العشر ، أوجد مقاومة المجزئ الذى ينقص حساسية هذا الاميتر إلى الربع.

(٧٥) ناقش بالتفصيل المشكلة التى واجهت الفيزياء الكلاسيكية فى تفسير منحنيات شدة الإشعاع مع الطول الموجى للأجسام المتوهجة فى درجات الحرارة المختلفة؟

(٧٦) اشرح كيف استطاع بلانك أن يفسر ظاهرة إشعاع الجسم الأسود؟

(٧٧) ما المقصود بالظاهرة الكهروضوئية وكيف تم تفسيرها فى ضوء النظرية الكمية للإشعاع؟

(٧٨) تعتبر ظاهرة كمبتون مثالاً جيدًا للطبيعة الجسيمية للموجات. ناقش ذلك بالتفصيل؟

(٧٩) يعتبر الميكروسكوب الإلكترونى مثالاً تطبيقياً للطبيعة الموجية للإلكترونات. اشرح فكرة عمل هذا الجهاز موضحاً ما يتميز به عن الميكروسكوب الضوئى العادى. ولماذا؟

(٨٠) اشرح بالتفصيل تجربة رذرفورد التى اثبتت فى ضوء نتائجها فشل تصور طومسون عن الذرة.

(٨١) ناقش أسباب فشل الميكانيكا الكلاسيكية فى تفسير استقرار الذرة.

(٨٢) علل: لا يصدر الطيف الخطى من المادة إلا إذا كانت فى صورة ذرات منفصلة أو فى الحالة الغازية تحت ضغط منخفض.

(٨٣) ما هو الدور الذى يقوم به المجال الكهربى بين الكاثود والهدف فى توليد الأشعة السينية فى أنبوبة كولدج؟

(٨٤) علل : يعتمد الطول الموجى للطيف المميز فى الأشعة السينية على نوع مادة الهدف، وليس على فرق الجهد المسلط بين الكاثود والهدف.

(٨٥) يشترط فى مصادر الليزر أثناء التشغيل أن يصل الوسط الفعال لوضع الإسكان المعكوس فى حين لا يتطلب حدوث مثل ذلك فى مصادر الضوء العادية؟

(٨٦) يعتبر التجويف الرنينى هو الوحدة المسئولة فى جهاز الليزر عن إتمام عمليتى الانبعاث المستحث والتضخيم الضوئى. وضح بالتفصيل آلية إتمام هاتين العمليتين؟

(٨٧) وضح الدور الذى يقوم به كل من عنصرى الهليوم والنيون فى إنتاج ليزر الهيليوم نيون؟

(٨٨) يعتبر ليزر الهليوم نيون مثالا لتحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة ضوئية وطاقة حرارية وضح آلية هذا التحويل؟

(٨٩) قارن بين التصوير العادى والتصوير الهولوجرافى من حيث أسلوب نقل البيانات المعبرة عن الصورة إلى اللوح الفوتوغرافى فى كل منهما.

(٩٠) ما المقصود بالمادة شبه الموصلة النقية؟ وما هى خصائصها فى التوصيل الكهربى؟

(٩١) ناقش الطرق الممكنة لرفع كفاءة المادة شبه الموصلة،مع ذكر الخصائص التى تكتسبها المادة فى كل طريقة .

(٩٢) ناقش مفهوم كل من المصطلحات التالية:

الفجوة الموجبة ـ الذرة الشائبة ـ الجهد الحاجز

شبه موصل من النوع الموجب ـ تيار الانسياب

شبه موصل من النوع السالب ـ تيار الانتشار

(٩٣) ناقش مفهوم الاتزان الديناميكى الحرارى لبلورة مادة شبه موصلة؟

(٩٤) قارن بين خصائص الوصلة الثنائية فى حالة التوصيل الأمامى والتوصيل الخلفى.

(٩٥) اشرح مع الرسم التوضيحى كيفية قيام الوصلة الثنائية بتقويم التيار المتردد.

(٩٦) اشرح الأساس العلمى الذى يعمل عليه الترانزستور كمفتاح.

(٩٧) قارن بين فكرة عمل الأجهزة التناظرية والأجهزة الرقمية.

(٩٨) يعتبر نظام العد الثنائى هو الأساس العلمى لتكنولوجيا الإلكترونيات الرقمية والعمليات المنطقية. ناقش هذه العبارة.

(٩٩) ارسم دائرة كهربية مبسطة تصلح كبوابة توافق لها ثلاثة مداخل ومخرج واحد، ثم اكتب جدول التحقيق الخاص بها.

(١٠٠) ما المقصود بالدائرة المتكاملة؟ وكيف استطاعت أن تحل محل العديد من المكونات الإلكترونية المنفصلة؟

إرشادات الحل لأسئلة الفهم والتطبيق

١- تغير درجة الحرارة يؤدى إلى تغير قوة الشد فى السلك (بفعل التمدد والانكماش) المثبت من طرفيه فتتغير بذلك سرعة انتشار الموجة المستعرضة فيه حيث $v = \sqrt{\frac{T}{m}}$ ويحدث ذلك فى الآلات الموسيقية الوترية مثل العود والكمان.

٢- يستطيع الشخص أن يتحكم فى قوة الشد التى يؤثر بها على كل من الوترين حتى تستطيع النبضة الثانية أن تلحق بالأولى؛ وذلك لأن $v = \sqrt{\frac{T}{m}}$.

٣- عندما يكون خارج الغرفة إظلام تام تكون شدة الضوء النافذ من الخارج إلى داخل الغرفة منعدمة لذلك يرى الشخص صورته بفعل الجزء القليل المنعكس من الضوء داخل الغرفة على الزجاج. أما فى حالة ما يكون خارج الغرفة ضوء فإن شدة الضوء النافذ من الخارج إلى الداخل تكون أكبر من شدة الضوء المنعكس من داخل الغرفة؛ لذلك يصعب رؤية الشخص لصورته بالانعكاس.

٤- يعمل الحائل الزجاجى الرأسى عمل متوازى المستطيلات حيث يسبب إزاحة فى مسار الشعاعين الساقطين عليه بعد نفاذيهما منه، فيزداد بذلك طول المسار وتزاح نقطة تقابل الشعاعين لتصبح خلف الحائل وعلى بعد منه مساويًا لمقدار هذه الإزاحة.

٥- يتناسب معامل انكسار المادة للضوء عكسيًا مع الطول الموجى للضوء الساقط، وطبقًا للعلاقة $\sin \phi_c = \frac{1}{n}$ فإن قيمة الزاوية الحرجة للضوء تتناسب طرديًا مع الطول الموجى له. ففى حالة الضوء الأزرق وهو الطول الموجى الأقل تكون الزاوية الحرجة صغيرة فلا يستطيع الضوء أن يصل إلى الأحرف الجانبية للمكعب، حيث يحدث له انعكاسًا كليًا للداخل ويظهر الضوء النافذ كبقعة دائرية مضيئة فى كل وجه. أما فى حالة الضوء الأحمر وهو الطول الموجى الأكبر تكون الزاوية الحرجة كبيرة فيستطيع الضوء أن يصل إلى جوانب المكعب وينفذ منها دون أن يعانى انعكاسًا كليًا لذلك يظهر الضوء النافذ من كل وجه كبقعة مربعة مضيئة.

٦- أ- لم يتغير مسار الضوء عند كل من P,S ؛لأنه سقط عموديًا على كل منهما.

ب- انعكس الضوء عند كل من R,Q نتيجة سقوطه بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة.

ج- تفضل الليفة الضوئية المكونة من طبقتين عن الليفة الضوئية المكونة من طبقة واحدة للحفاظ على الشدة الضوئية للضوء المنقول بالليفة الضوئية، حيث تقوم الطبقة الثانية بانعكاس الضوء المتسرب من الطبقة الأولى انعكاسًا كليًا للداخل مرة أخرى.

٧- الزاوية X تساوى الزاوية 30° بالتقابل بالرأس ، وهذا غير صحيح؛ لأن الشعاع انتقل من وسط أقل كثافة إلى وسط أكبر كثافة، أى أن : زاوية السقوط لا بد وأن تكون أكبر من زاوية الانكسار لذلك لا بد من زيادة قيمة X عما هى عليه بالرسم. الزاوية Y تمثل زاوية انعكاس كلى لزاوية السقوط 45° وهذا يجعل الزاوية بين الشعاعين الساقط والمنعكس 90° لذلك يجب زيادة الزاوية Y حتى تصبح عمودية على الشعاع AB.

٨-

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} = \sqrt{\frac{70}{80}} = \frac{2.65}{2.83}$$

٩-

$$m = \frac{2.6 \times 10^{-3}}{0.6} = 4.33\times10^{-3}\,m$$

$$v = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{3}{2\times0.6}\sqrt{\frac{400}{4.33\times10^{-3}}}$$

$$= 7.6\times10^{2}\,Hz$$

١٠-

$$\theta = \frac{A}{2} = \frac{60}{2} = 30^{\circ}$$

$$\phi = \sin^{-1}(n\times\sin\theta) = \sin^{-1}\left(\sqrt{2}\times0.5\right) = 45^{\circ}$$

$$\alpha = 2\phi - A = (2\times45) - 60 = 30^{\circ}$$

١١-

$$\Delta x = \lambda\frac{1}{d}$$

$$\Delta x = 66\times10^{-8}\times\frac{5}{11\times10^{-4}} = 3\times10^{-3}\,m$$

١٢- عندما توجه فوهة الخرطوم لأسفل يتحرك الماء المنساب فى اتجاه الجاذبية الأرضية فتزداد سرعته من لحظة لأخرى أثناء السقوط فتقل بذلك مساحة المقطع نظرًا لثبوت معدل الانسياب$Q=Av$. وعندما توجه فوهة الخرطوم لأعلى يتحرك الماء ضد الجاذبية الأرضية فيتحرك بعجلة تقصيرية، وتقل سرعته من لحظة لأخرى فتزداد مساحة المقطع نظرًا لثبوت معدل الانسياب.

١٣- يزداد حجم البالون نتيجة نقص الضغط الخارجى المؤثر عليه والمتزن مع ضغط الهواء بداخله، وذلك نتيجة نقص قيمة عجلة الجاذبية الأرضية على سطح الأرض.

١٤- الكرة متزنة تحت تأثير تساوى وزنها mg لأسفل مع قوة الدفع عليها $V_{ol}\rho g$ لأعلى وبحذف g من الطرفين فتصبح النسبة بين وزن الكرة إلى قوة الدفع كالنسبة بين كتلة الكرة إلى كتلة الماء المزاح ونظرًا لثبوت الكتلة فلا يتأثر وضع الكرة بنقل الإناء من سطح الأرض إلى سطح القمر.

١٥- العبارة خطأ لأنه عندما يغوص شخص فى حمام سباحة قرب القاع يزداد فقط الضغط المؤثر عليه، أما قوة الدفع فلا تتأثر بعمق الشخص أسفل سطح الماء.

١٦- نظرًا لكبر كثافة الماء عن كثافة الثلج يصبح حجم الماء الناتج عن انصهار الجليد أقل من حجم الجليد نفسه؛ لأن كلاهما له نفس الكتلة ولذلك ينخفض سطح الماء الكلى بالكأس عن حافته بعد انصهار الجليد.

١٧- لا تتغير قراءة الميزان قبل غمر الجسم وبعده فى حالة ما إذا كان الجسم من الخشب أو من الحديد؛ لأنه فى الحالة الأولى يطفو الخشب فوق سطح الماء بعد أن يزيح كتلة من الماء مساوية لوزنه وبالتالى تظل الكتلة فوق الميزان ثابتة فى الحالتين. وفى حالة الحديد يؤثر رد فعل قوة الدفع الماء للجسم المعلق على قاعدة الإناء ، وبالتالى على الميزان فتعوض بذلك وزن السائل المزاح وتظل قراءة الميزان ثابتة.

١٨- راجع الفصل الخامس

١٩-

$$A_1v_1 = A_2v_2$$

$$\pi\,(0.5\times10^{-2})^2\times0.4 = n\pi(0.2\times10^{-2})^2\times0.25$$

$$n = \frac{1\times10^{-5}}{1\times10^{-6}} = 10$$

٢٠-

$$h_o\rho_o = h_w\rho_w$$

$$h_o = \frac{(1.5\times10^{-2})\times1000}{800} = 1.9\times10^{-2}\,m$$

٢١-

$$\frac{F}{f} = \frac{A}{a}$$

$$\frac{F}{200} = \frac{20\times10^{-4}}{4\times10^{-4}}$$

$$F = 5\times200 = 1000\,N$$

$$m = \frac{F}{g} = \frac{1000}{10} = 100\,kg$$

٢٢-

$$hA\rho g = mg$$

$$A = \frac{16\times10^{3}}{5\times10^{-2}10^{3}} = 320m^2$$

٢٣-

$$(V_{ol}\rho g)_w = (V_{ol}\rho g)_s$$

$$\frac{2}{5}\times5\times10^{-3}\times10^{3} = 5\times10^{-3}\times\rho_s$$

$$\rho_s = 400kg/m^3$$

$$F = \frac{3}{5}\,V_{ol}\rho_w g = \frac{3}{5}\times5\times10^{-3}\times10^{3}\times9.8$$

$$= 29.4N$$

٢٤- يعمل تأثير فاندرفال على تأثير جزيئات الغاز بعضها على بعض، وبالتالى يفقد كل جزىء على حدة حرية حركته الانتقالية من مكان لآخر داخل حيز الوعاء الحاوى له، كما يقل متوسط المسافات الجزيئية وتزداد كثافة المادة لتدخل بذلك فى حالة السيولة.

جـ ٢٥- يقل متوسط طاقة حركة الجزيئات بانخفاض درجة حرارتها فيقل بذلك متوسط سرعة الجزىء الواحد فينشط بذلك تأثير فاندرفال بين جزيئات الغاز وبعضها.

جـ٢٦- تعنى زيادة كثافة الغاز زيادة الكتلة الموزعة فى وحدة الحجوم من الحيز الذى يشغله الإناء الحاوى لهذا الغاز وهذا بدوره يؤدى إلى زيادة قوى التجاذب المادى بين جزيئات الغاز وبعضها إما بتأثير زيادة كتلة الجزىء نفسه أو بنقص المسافة بين الجزيئات وبعضها، أو بكليهما معاً.

جـ٢٧- تنتقل الحرارة من الجسم الساخن إلى الجسم البارد بثلاثة طرق هى التوصيل والحمل والإشعاع، وقد روعى فى تصميم قارورة ديوار الحد من فقد الحرارة بأى من الطرق الثلاثة حيث يعمل الجدار المزدوج على الحد من النقص بالتوصيل ويعمل تفريغ الحيز الفاصل بين الجدار المزدوج من الهواء على الحد من الفقد بالحمل، وأخيراً يعمل تصميم الجدار الداخلى والخارجى للقارورة كسطح عاكس على الحد من تسرب الحرارة بالإشعاع.

- الأسئلة من ٢٨ : ٣١ راجع الفصل التاسع.

جـ ٣٢- نستخدم المواد فائقة التوصيل فى صناعة هوائى الأقمار الصناعية نظراً لانعدام مقاومتها الكهربية، وهذا يؤدى إلى تأثرها بأضعف الموجات الكهرومغناطيسية واستقبالها بوضوح.

جـ٣٣- لا تظهر ظاهرة مايسنر إلا فى المواد فائقة التوصيل لانعدام مقاومتها الكهربية حيث يؤدى ذلك إلى سهولة تأثر الإلكترونات الحرة بها بالمجال المغناطيسى الخارجى والاحتفاظ بطاقة الحركة التى اكتسبتها بفعل هذا التأثير دون أن تفقد فى صورة طاقة حرارية ويعمل

ذلك على استمرارية سريان تيار كهربى داخلى بالمادة يتولد عنه مجال مغناطيسى يؤدى لظهور ظاهرة مايسنر.

جـ٣٤- درجة حرارة غاز الأرجون أعلى من درجة حرارة غاز الهليوم لأن كتلة ذرة الأرجون أكبر من كتلة ذرة الهليوم، وبالتالى يكون متوسط طاقة حركة ذرات الأرجون تكون أكبر من متوسط طاقة حركة ذرات الهليوم.

جـ٣٥-

$$\frac{1}{2}\,mv^2 = \frac{3}{2}\,kT$$

$$\frac{1}{2}\,mv^2 = \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300$$

$$= 6.21 \times 10^{-21}\ j$$

$$v = \left(\frac{6.21 \times 10^{-21} \times 22}{9.1 \times 10^{-31}}\right)^{\frac{1}{2}} = 1.17 \times 10^{5}\ m/s$$

٣٩- كلما قلت المقاومة الداخلية للبطارية قل مقدار الشغل المفقود منها عند التشغيل.

٤٠- لأن شدة التيار فى دائرة التوازى تكون أكبرما يمكن عند مدخل ومخرج التيار (أى عند قطبى البطارية)، بينما تقل قيمتها عند المرور فى كل مقاومة على حدة.

من ٤١- ٤٨ راجع الفصل التاسع والعاشر.

٤٩-

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{0.8}{2} = 0.4\ \Omega$$

$$\rho_e = \frac{RA}{L} = \frac{0.4 \times 0.3 \times 10^{-4}}{30 \times 10^{-2}}$$

$$\rho_e = 4 \times 10^{-5}\ \Omega.m$$

٥٠- راجع الفصل العاشر.

٥١-

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$$

$$= \frac{200 \times 10^{-3} \times 400}{100 \times 10^{-3} - 20 \times 10^{-3}}$$

$$= 10\Omega$$

$$V = V_g + R_m I_g$$

$$= (20 \times 10^{-3} \times 40) + (210 \times 20 \times 10^{-3})$$

$$V = 5V$$

من ٥٢- ٥٤ راجع الفصل الحادى عشر.

٥٥-

$$I_s = \frac{P_w}{V_s} = \frac{24}{12} = 2A$$

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{I_p}{I_s}$$

$$\frac{12}{240} = \frac{I_p}{2}$$

$$I_p = \frac{24}{240} = 0.1A$$

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$\frac{12}{240} = \frac{480}{N_p}$$

$$N_p = \frac{480 \times 240}{12} = 9600$$

٥٦- راجع الفصل الحادى عشر.

٥٧-

$$V_B = \frac{W}{Q}$$

$$V_B = \frac{100}{5} = 20V$$

٦٤- فرق الجهد المفقود من البطارية هو فرق الجهد المبذول للتغلب على المقاومة الداخلية للعمود

$$I = \frac{V_B}{R + r}$$

$$I = \frac{12}{2 + 0.5} = 4.8$$

فرق الجهد المفقود يكافئ Ir

$$Ir = 4.8 \times 0.5 = 2.4V$$

النسبة المئوية لفرق الجهد المفقود:

$$\frac{2.4}{12} \times 100 = 20\%$$

ملاحق

ملحق ١

رموز ووحدات بعض الكميات الفيزيائية
Symbols and Units of Some Physical Quantities

م	الكمـــــية	الرمز الشـائـع	وحـدة القـياس
١	الإزاحـــة	x,y,z,d	m (meter)
٢	المســاحـة	A	m^2
٣	الحجـــم	V_{ol}	m^3
٤	الـزمـــن	t	s (second)
٥	الزمن الدورى	T	s
٦	الســرعـة	v	$m\ s^{-1}$
٧	الــزاويـة	α,θ,ϕ	deg , rad
٨	التردد الزاوى (السرعة الزاوية)	ω	$rad\ s^{-1}$
٩	الكتـــلة	m,M	kg
١٠	كتلة الإلكترون	m_e	kg
١١	الكـثافـة	ρ	$kg\ m^{-3}$
١٢	العجـــلة	a	$m\ s^{-2}$
١٣	عجلة الجاذبية	g	$m\ s^{-2}$
١٤	كمية الحركة الخطية	P_L	$kg\ m\ s^{-1}$
١٥	الـقـــوة	F	$N , kg\ ms^{-2}$
١٦	الـــــوزن	F_g	N(Newton)
١٧	عزم اللى (الازدواج)	τ	Nm
١٨	الشـغـل	W	J(Joule)
١٩	الطـاقـة	E	J
٢٠	طاقة الحركة	KE	J
٢١	طاقة الوضع	PE	J

م	الكمـــــية	الرمز الشـائـع	وحـدة القـياس
٢٢	القـــدرة	P_w	W , Js^{-1} (watt)
٢٣	الدفـع	I_{imp}	Ns
٢٤	درجة الحرارة	$t^{\circ}C$, $t^{\circ}F$, $T^{\circ}K$	Celsius, Fahrenheit, Kelvin
٢٥	كمية المادة	n	mole
٢٦	الضغـط	P	Pascal , Nm^{-2}
٢٧	الضغط الجوى	P_a	Pascal , Nm^{-2}
٢٨	كمية الحرارة	Q_{th}	J
٢٩	الحرارة النوعية	C_{th}	$J\ kg^{-1}\ ^{\circ}K^{-1}$
٣٠	السعة الحرارية	q_{th}	$J^{\circ}K^{-1}$
٣١	الحرارة الكامنة للتصعيد	B_{th}	$J\ kg^{-1}$
٣٢	الحرارة الكامنة للانصهار	L_{th}	$J\ kg^{-1}$
٣٣	معامل التمدد الحجمى للغاز	α_V	——
٣٤	معامل زيادة ضغط الغاز	B_P	——
٣٥	معدل الانسياب الكتلى	Q_m	kg/s
٣٦	معدل الانسياب الحجمى	Q_V	m^3/s
٣٧	معامل اللزوجة	η_{vs}	$Ns\ m^{-2}$
٣٨	الكـفـــاءة	η	——
٣٩	الشحنة الكهربية	Q,q	C (Coulomb)
٤٠	شحنة الالكترون	e	C
٤١	فرق الجهد الكهربى	V	V (Volt)
٤٢	فرق جهد البطارية	V_B	V
٤٣	القوة الدافعة الكهربية	emf	V
٤٤	شدة المجال الكهربى	ε	Vm^{-1}
٤٥	الفيض الكهربى	ϕ_e	Gauss

م	الكمـــــية	الرمز الشـائع	وحـدة القـياس
٤٦	شدة التيار الكهربى	I	A (Ampere)
٤٧	المقاومة الكهربية	R	Ω (Ohm)
٤٨	المقاومة النوعية	ρ_e	Ω m
٤٩	التوصيلية الكهربية	σ	Ω^{-1} m^{-1}
٥٠	معامل تكبير الترانزيستور	α_e , β_e	——
٥١	شدة المجال المغناطيسى	H	Am^{-1}
٥٢	كثافة الفيض المغناطيسى	B	Tesla , Wb m^{-2}
٥٣	الفيض المغناطيسى	ϕ_m	Web (Weber)
٥٤	معامل الحث الذاتى	L_m	H (Henry)
٥٥	معامل الحث المتبادل	M_m	H
٥٦	النفاذية المغناطيسية	μ	Weber A^{-1} m^{-1}
٥٧	عزم ثنائى القطب المغناطيسى	$\overrightarrow{m_d}$	Nm $Tesla^{-1}$
٥٨	سرعة الضوء	c	ms^{-1}
٥٩	التردد الموجى	ν	Hertz (Hz)
٦٠	التردد الكهربى	f	Hz
٦١	الطول الموجى	λ	m
٦٢	معامل انكسار المادة للضوء	n	——
٦٣	قوة التفريق اللونى	ω_α	——

ملحق ٢

الثوابت الفيزيائية الأساسية

Fundamental Physical Constants

الكمية الفيزيائية	رمز الكمية	القيمة العددية
١- ثابت الجذب العام Universal gravitational constant	G	$6.677 \times 10^{-11}\ N\ m^2\ kg^{-2}$
٢- ثابت بولتزمان Boltzmann constant	k	$1.38 \times 10^{-23}\ J\beta K^{-1}$
٣- عدد أفوجادرو Avogadro□s number	N_A	$6.02 \times 10^{26}\ Molecule.kmol^{-1}$
٤- الثابت العام للغازات Universal gas constant	R	$8.31 \times 10^{3}\ J.kmol^{-1}\ \beta K^{-1}$
٥- ثابت قانون كولوم Coulomb□s Law Constant	k	$9 \times 10^{9}\ Nm^2C^{-2}$
٦- معامل نفاذية الفراغ Permeability of free Space	μ	$4,,\times 10^{-7}\ Weber\ m^{-1}A^{-1}$
٧- سرعة الضوء فى الفراغ Speed of Light in Vacuum	c	$3 \times 10^{8}\ m.s^{-1}$
٨- الشحنة الأولية Elementary charge	e	$1.6 \times 10^{-19}\ C$
٩- كتلة السكون للإلكترون Electron rest mass	m_e	$9.1 \times 10^{-31}\ kg$
١٠- الشحنة النوعية للإلكترون Specific charge of electron	$\frac{e}{m_e}$	$1.79 \times 10^{11}\ C.kg^{-1}$
١١- كتلة السكون للبروتون Proton rest mass	m_p	$1.673 \times 10^{-27}\ kg$
١٢- ثابت بلانك Planck□s constant	h	$6.63 \times 10^{-34}\ Js$
١٣- وحدة الكتل الذرية Atomic mass unit	u	$1.66 \times 10^{-27}\ kg$
١٤- ثابت ريد برج Rydberg constant	R_H	$1.096 \times 10^{7}\ m^{-1}$
١٥- كتلة السكون للنيوترون Neutron rest mass	m_n	$1.675 \times 10^{-27}\ kg$
١٦- حجم المول فى الغاز فى معدل الضغط و درجة الحرارة Molar volume of ideal gas at S.T.P		$22.4 \times 10^{-3}\ m^3$
١٧- شدة الجاذبية على سطح الأرض Standard gravity at Earth□s surface	g	$9.8066\ ms^{-2}$
١٨- نصف القطر الاستوائى للأرض Equatorial radius of the Earth	r_e	$6.374 \times 10^{6}\ m$
١٩- كتلة الأرض Mass of the Earth	M_e	$5.976 \times 10^{24}\ kg$
٢٠- كتلة القمر Mass of the Moon	M_m	$7.35 \times 10^{22}\ kg$
٢١- متوسط نصف قطر مدار القمر حول الأرض Mean radius of the Moon□s orbit around the Earth	r_m	$3.844 \times 10^{8}\ m$
٢٢- كتلة الشمس Mass of the Sun	M_s	$1.989 \times 10^{30}\ kg$

الكمية الفيزيائية	رمز الكمية	القيمة العددية
٢٣- متوسط نصف قطر دوران الأرض حول الشمس Mean radius of Earth□s orbit around the Sun	r_{es}	$1.496x10^{11}$ m
٢٤- زمن دوران الأرض حول الشمس Period of Earth□s orbit around the Sun	yr	$3.156x10^{7}$ s
٢٥- قطر المجرة التابع لها الشمس Diameter of our galaxy	—	$7.5x10^{20}$ m
٢٦- كتلة المجرة التابع لها الشمس Mass of our galaxy	—	$2.7x10^{41}$ kg
٢٧- نصف قطر الشمس Radius of the Sun	—	$7x10^{8}$ m
٢٨- شدة إشعاع الشمس على سطح الأرض Sun□s radiation intensity at Earth□s surface	—	0.134 J cm^{-2} s^{-1}

ملحق ٣

البادئات القياسية
Standard Prefixes

عربى	إنجليزى	الأس العشرى
يوكتو	Yocto	10^{-24}
زبتو	Zepto	10^{-21}
أوتو	Atto	10^{-18}
فيمتو	Femto	10^{-15}
بيكو	Pico	10^{-12}
نانو	Nano	10^{-9}
ميكرو	Micro	10^{-6}
ملى	Milli	10^{-3}
سنتى	Centi	10^{-2}
ديسى	Deci	10^{-1}
	___	10^{0}
ديكا	Deka	10^{1}
هيكتو	Hecto	10^{2}
كيلو	Kilo	10^{3}
ميجا	Mega	10^{6}
جيجا	Giga	10^{9}
تيرا	Tera	10^{12}
بيتا	Peta	10^{15}
إكسا	Exa	10^{18}
زيتا	Zetta	10^{21}
يوتا	Yotta	10^{24}

ملحق ٤

الحروف الأبجدية اليونانية

Greek Alphabet

A	α	alpha	a	"father"
B	β	beta	b	
Γ	γ	gamma	g	
Δ	δ	delta	d	
E	ε	epsilon	e	"end"
Z	ζ	zêta	z	
H	η	êta	ê	"hey"
Θ	θ	thêta	th	"thick"
I	ι	iota	i	"it"
K	κ	kappa	k	
Λ	λ	lamda	l	
M	μ	mu	m	
N	ν	nu	n	
Ξ	ξ	xi	ks	"box"
O	ο	omikron	o	"off"
Π	π	pi	p	
P	ρ	rho	r	
Σ	σ, ς	sigma	s	"say"
T	τ	tau	t	
Y	υ	upsilon	u	"put"
Φ	φ	phi	f	
X	χ	chi	ch	"Bach"
Ψ	ψ	psi	ps	
Ω	ω	omega	ô	"grow"

ملحق٥

أسماء بعض علماء الفيزياء وإنجازاتهم

• أبو البركات (ابن ملكا) (١٠٧٢ - ١١٥٢)	رائد فى الطب ومكتشف قوانين الحركة.
• أبو الحسن على (ابن يونس المصرى) (٩٥٢ - ١٠٠٩)	رائد فى علم الفلك ومخترع البندول البسيط.
• أبو الريحان محمد البيرونى (٩٧٣ - ١٠٤٨)	رائد فى علم الجغرافيا والفلك وأول مَنْ قدر نصف قطر الارض.
• أبو على الحسن (ابن الهيثم) (٩٦٥ - ١٠٤٠)	رائد فى الرياضيات والفلك والطب ومؤسس علم البصريات.
• أبو يوسف يعقوب بن إسحق (الكندى) (٨٠٠ - ٨٧٣)	رائد فى الفلسفة والفيزياء (وخاصة البصريات) .
• إديسن (توماس) Edison (Thomas) (1847 - 1931)	مخترع الفونوجراف والمصباح الكهربى وبعض الأجهزة الإلكترونية.
• أرشميدس Arkhimêdês (قبل الميلاد 212- 287)	له اكتشافات عديدة منها نسبة قطر الدائرة إلى محيطها وقانون الطفو والمرآة العاكسة.
• أفوجادرو (أميديو) Avogadro (Amedeo) (1776 - 1856)	فيزيائى إيطالى صاحب النظرية المتعلقة بالجزيئات الغازية المعروفة باسمه.

● أمبير (أندريه - مارى) Ampére (André - Marie) (1775 - 1836)	أجرى دراسات على الكهرباء والمغناطيسية والتلغراف.
● أورستد (هانس كريستيان) Oersted (Christian) (1777 - 1851)	مؤسس علم الكهرومغناطيسية فى عام 1820.
● أوم (جورج) Ohm (George) (1789 - 1854)	فيزيائى ألمانى فحص التيارات الجلفانية واكتشف توزيع القوة الدافعة الكهربائية فى الدوائر الكهربائية وقام بصياغة قانون أوم للكهربية.
● أينشتاين (ألبرت) Einstein (Albert) (1879 - 1955)	حاز على جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1921 لخدماته فى الفيزياء النظرية وخاصة لاكتشافه قانون التأثير الكهروضوئى.
● باسكال (بليز) Pascal (Blaise) (1623 - 1662)	له مؤلفات علمية وبحوث ومساهمات فى مجال السوائل المتحركة وقوانين ضغط الهواء والماء وتوازن السوائل.
● بديع الزمان (ابن الرزاز الجزرى) القرن الثانى عشر	رائد فى علم القياسات والميكانيكا وصناعة الآلات المائية.
● براج (وليم) Bragg (William) (1862 - 1942)	فيزيائى إنجليزى اهتم بدراسة وتطبيق حيود الأشعة السينية لتحليل البناء البلورى، حاز على جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1915.
● بور (نيلز) Bohr (Neils) (1885 - 1962)	حاز على جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1922 لخدماته فى إجراء الفحوصات العملية للبناء الداخلى للذرات والأشعة المنبعثة منها.
● بويل (روبرت) Boyle (Robert) (1627 - 1691)	اكتشف قانون ضغط الغازات.

• توريشلى (إيفانجلستا) Torricelli (Evangelista) (1608 - 1647)	مخترع البارومتر الزئبقى.
• جاليليو (جاليلى) Galileo (Galilei) (1564 - 1642)	فلكى إيطالى وفيزيائى وأول من أثبت أن سقوط الأجسام لا يعتمد على الكتلة وأول من صنع التلسكوب الفلكى.
• جلفانى (لويجى) Galvni (Luigi) (1737 - 1798)	فيزيائى وطبيب إيطالى أدت تجاربه على الحيوانات إلى أن الأعصاب والعضلات تولد شحنات كهربية.
• دالتون (جون) Dalton (John) (1766 - 1844)	كيميائى وفيزيائى إنجليزى أول من وضع فروض الذرة واستنتج قانون امتزاج الغازات.
• رذر فورد (إرنست) Rutherford (Ernest) (1871 - 1937)	اهتم بالإجراءات المعملية فى مجال الذرة والإشعاع ونال جائزة نوبل فى الكيمياء عام ١٩٠٨ لأبحاثه فى الانحلال الإشعاعى للعناصر
• رهمكورف (هنريش) Ruhmkorff (Heinrich) (1803 - 1877)	عالم فرنسى من أصل ألمانى وهو ميكانيكى اهتم بالكهرباء واخترع البكرة المعروفة باسمه وأيضا ملف الحث.
• رونتجن (ويلهلم) Rontgen (Wilhelm) (1845 - 1923)	فيزيائى ألمانى اكتشف الأشعة السينية (أشعة إكس).
• شرودينجر (أروين) Schrodinger (Erwin) (1887 - 1961)	فيزيائى نمساوى نال جائزة نوبل لأبحاثه فى الآلية المتموجة عام ١٩٣٣.
• عبد الرحمن أبو جعفر (الخازن) (القرن الثانى عشر)	رائد علم الهيدروستاتيكا وقياس الضغط ودرجة الحرارة.

● فاراداى (مايكل) Faraday (Michael) (1791 - 1867)	اكتشف قوانين الكهرومغناطيسية ومفهوم المجال.
● فان درڤالز (جوهانس) Van Der Waals (Johannes) (1837 - 1923)	منح جائزة نوبل عام 1910 من أجل دراساته المتميزة لمعادلة الحال للغازات والسوائل
● فراونهوفر (جوزف فون) Fraunhofer (Joseph Von) (1787 - 1826)	فسر الخطوط الطيفية المظلمة لضوء الشمس التى أدت إلى وجود مختلف العناصر والأيونات فى الشمس.
● فولتا (الساندرو) Volta (Alessandro) (1745 - 1827)	فيزيائى إيطالى أول من صنع العمود الكهربائى (البطارية) وطور نظرية التيار الكهربى وتعرف وحدة قياس الجهد باسمه.
● فيرمى (إنريكو) Fermi (Enrico) (1901 - 1954)	فيزيائى إيطالى مشتغل بالطاقة النووية واشترك فى صناعة القنبلة الذرية (نوبل 1938) وأدت أبحاثه إلى إنتاج عناصر مشعة جديدة.
● كاميرلنخ (أونس) Kamelingh (Onnes) (1853 - 1926)	نال جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1913 لبحوثه على خواص المواد عند درجات الحرارة المنخفضة والتي أدت إلى إنتاج الهليوم السائل واكتشاف ظاهرة فائقية التوصيل فى المعادن الفلزية وبعض المركبات.
● كبلر (جوهانس) Kepler (Johannes) (1571 - 1630)	فلكى المانى وضع قوانين الكواكب السيارة واستنبط منها نيوتن قانون الجذب العام.
● كوبرنيكس (نيكولاس) Copernicus (Nicolas) (1473 - 1543)	فلكى بولندى أثبت دوران الكرة الأرضية حول نفسها وحول الشمس.
● كيرشهوف (جوستاف) Kirchhoff (Gustav) (1824 - 1887)	فيزيائى ألمانى اكتشف قوانين الدوائر الكهربية.

● لنز (هنرش) Lenz (Heinrich) (1804 - 1865)	مكتشف قوانين التيار المستحث واتجاه القوة الدافعة الكهربية المستحثة والتيار المستحث.
● ماكس بلانك (ماكس) Planck (Max) (1858 - 1947)	منح جائزة نوبل في الفيزياء عام 1918 تقديرا واعترافا لخدماته التى أدت إلى تقدم ورقى الفيزياء بواسطة اكتشافه العلمى لكمات الطاقة.
● ماكسويل (جيمس) Maxwell (James) (1831 - 1879)	أول من افترض قوانين الكهرومغناطيسية والتي سميت بمعادلات ماكسويل.
● نيوتن (السير اسحاق) Newton (Isaac) (1642 - 1727)	اكتشف تكوين الضياء الشمسى وقوانين الجاذبية والحركة.
● هرتز (هينرش) Hertz (Heinrich) (1857 - 1894)	اكتشف الموجات الكهربائية واشتق القوانين الأساسية من معادلات ماكسويل.
● هيجنس (كريستيان) Huygens (Christian) (1629 - 1695)	أول من افترض وجود التموجات الضوئية.
● ينج (توماس) Young (Thomas) (1773 - 1829)	فيزيائى وطبيب اهتم بنظرية الضوء وأجرى تجارب معملية على التداخل الضوئى والالوان والنظرية الموجية للضوء.

ملحق ٦

بعض مواقع الفيزياء على شبكة الإنترنت

http://www.dke-encyc.com

http://imagine.gsfc.nasa.gov

http://csep10.phys.utk.edu

http://www.howstuffworks.com

http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl

http://scienceworld.wolfram.com/physics

http://www.physlink.com

http://www.intuitor.com/moviephysics

http://www.newport.com/spectralanding

http://www.mathpages.com/home/iphysics.htm

http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html

"ينبغى أن تكثر اتهامك لنفسك ولا تحسن الظن بها وتعرض خواطرك على العلماء وعلى تصانيفهم وتتثبت ولاتتعجل؛ فالعالم الحق من يضع لبنة فى بناء العلم العظيم".

موفق الدين البغدادى

"كفى بالعلم شرفا أن كلا يدعيه، وكفى بالجهل ضيعة أن الكل يتبرأ منه. والإنسان إنسان بالخلقة إذا لم يعلم. فإذا علم كان إنسانا بالفعل والإنسان يحترم الإنسان بقدر ما يملكه من معرفة وعلم. وتزداد قيمته إذا مارس مهنة التعليم والتأليف".

داود الإنطاكى

"وأما ما يجب للأستاذ على التلميذ فهو أن يكون التلميذ لينا متقبلاً لجميع أقواله من جميع جوانبها. لايعترض فى أمر من الأمور فإن ذخائر الأستاذ العلم ولايظهرها للتلميذ إلا عند السكون إليه.

ولست أريد بطاعة التلميذ للأستاذ أن تكون طاعته فى شئون الحياة الجارية بل أريدها طاعة فى قبول تعلم الدرس وترك الانشغال وعلى الأستاذ أن يمتحن توجيه المتعلم ومقدار ما فيه من القبول والإصغاء وقدرته على القبول وممارسته . وكلما احتمل الزيادة زاده. ومع امتحانه فيما كان مقررا تعلمه".

جابر بن حيان

"التلقين شر طرائق التعليم وخير طرائق التعليم أن أحرك تفكير تلميذى فى قضية ما وأترك له حرية السؤال .. وأجهد فكره ليصل بنفسه إلى الجواب ومع كل جواب أوافقه على جوابه أو أعترض عليه إلى أن أميل به إلى الجواب المنشود بالعقل والمنطق وبالوقائع وبالحجة والبرهان".

أبو يوسف يعقوب بن إسحق الكندى

"حياة قصيرة غنية بالعلم والمسرة والعمل خير عندى من حياة طويلة خاوية من هذه المتع الثلاث ينحنى فى خاتمتها الظهر ويسير صاحبها على ثلاث. ولاينبغى لعالم أن يبقى شيئا من العلم فى نفسه ولايدونه فى كتاب قبل أن يلقى وجه ربه".

أبو على الحسين بن سينا

"اللهم إنك تعلم أنى عرفتك على مبلغ إمكانى فاغفر لى فإن معرفتى إياك وسيلتى إليك".

غياث الدين أبو الفتح عمر الخيام